

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/050355

International filing date: 27 January 2005 (27.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 006 253.6  
Filing date: 09 February 2004 (09.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 04 April 2005 (04.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 10 2004 006 253.6

**Anmeldetag:** 09. Februar 2004

**Anmelder/Inhaber:** NowCast Mobile GmbH, 82266 Inning/DE

**Bezeichnung:** System und Verfahren zum Erfassen, Übermitteln und Auswerten von durch atmosphärische elektromagnetische Strahlung natürlichen Ursprungs anfallenden Daten und Informationen

**Priorität:** 29. Januar 2004 DE 10 2004 004 580.1

**IPC:** G 01 W 1/16

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. März 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

A large, stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trademark Office.

System und Verfahren zum Erfassen,  
Übermitteln und Auswerten von durch  
atmosphärische elektromagnetische  
Strahlung natürlichen Ursprungs  
anfallenden Daten und Informationen

**Technisches Gebiet**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein System sowie ein Verfahren zum Erfassen, Übermitteln und Auswerten von durch atmosphärische elektromagnetische Strahlung natürlichen Ursprungs anfallenden Daten und Informationen.

**Stand der Technik**

Seit über zehn Jahren befinden sich Blitzortungssysteme weltweit im Einsatz und erlauben die Lokalisierung von Bodenblitzen mit zunehmender örtlicher Genauigkeit, die bei modernen Netzen im Bereich von unter einem Kilometer liegt. Die Nachweiseffizienz wird für Blitze mit einer Stärke von mehr als fünf Kiloampere mit meist über neunzig Prozent angegeben, bei schwächeren Blitzen sind allerdings keine statistisch verlässlichen Daten bekannt.

Traditionell sind die operationellen Netze so konzipiert, dass vorwiegend Bodenblitze (= CG oder Cloud-Ground) gemeldet und Wolke-Wolke-Blitze (= I[ntra]C[loud] innerhalb einer Gewitterwolke oder C[loud-]C[loud] zwischen Gewitterwolken) möglichst unterdrückt werden. Neuerdings verstärkt sich allerdings der Trend, auch Entladungen in den Wolken zu Zwecken meteorologischer Nutzung mit zu erfassen.

Eine Unterscheidung von CG-Blitzen und IC-/CC-Blitzen ist mit speziellen Methoden, insbesondere mit dreidimensionalen Verfahren (sogenannte 3D-Verfahren), möglich, wobei auch Messungen im V[ery]H[igh]F[requenzy]-Bereich und im V[ery]L[ow]F[requenzy]-Bereich miteinander kombiniert werden können [vgl. Kawasaki, Z.-I. et al. (1994), "SAFIR operation and evaluation of its performance", Geophys. Res. Lett. 21(12), Seiten 1133 bis 1166; Thery, C. (2001), "Evaluation of LPATS data using VHF interferometric observations of lightning flashes during the EULINOX experiment", Atmospheric research 56, Seiten 397 bis 409].

Im Aufsatz von Jacobson et al. (2000), "FORTE radio-frequency observations of lightning strokes detected by the National Lightning Detection Network", J. Geophys. Res. 105, Seiten 15653 bis 15662, wird beispielsweise ein dreidimensionales Verfahren beschrieben, bei dem eine dreidimensionale Peilung zunächst mit VHF-Radiofrequenzen erfolgt und daraufhin über zeitliche Koinzidenz das zugehörige VLF-Signal aus einem vorhandenen zweidimensionalen VLF-Netz (sogenanntes NLDN) gesucht wird.

Weiterhin beschreiben Smith et al. (1999) im Aufsatz "A distinct class of isolated intracloud lightning discharges and their associated radio emissions", J. Geophys. Res. 104, Seiten 4189 bis 4212, ein dreidimensionales Verfahren, das jedoch eine reine VHF-Peilung ohne jeden VLF-Bezug vorsieht.

Ein dreidimensionales Verfahren mit guter Auflösung von Entladungskanälen beschreiben Krehbiel et al. (1999) in der Veröffentlichung "Three-dimensional lightning mapping observations during MEAPRS in central Oklahoma", 11th Int. Conf. on Atmosph. Electricity, NASA/CP, Alabama, Juni 1999, Seiten 376 bis 379. Dieses Verfahren weist jedoch wiederum keinen VLF-Bezug auf und beruht rein auf VHF-Peilung in den Wolken.

5 Bereits sehr frühzeitig wird in dem Dokument von Taylor (1978), "A VHF technique for space-time mapping of lightning discharge processes", J. Geophys. Res. 83, Seiten 3575 bis 3583, die Möglichkeit direkter räumlicher Anpeilung von hohen Emissionsorten mittels Laufzeitmessungen aufgezeigt.

10 Bei diesem bekannten Verfahren werden mittels zweier eng benachbarter Stationen, die jeweils auch zwei Sensoren in vertikaler Anordnung benötigen (unter anderem bodennah und in einer Höhe von etwa fünfzehn Metern) Laufzeitunterschiede im Nanosekunden-Bereich gemessen und hiermit die Elevationswinkel ermittelt, deren Schnittpunkt mittels Triangulation die Emissionsorte gibt.

15 Weitere dreidimensionale Verfahren werden in folgenden Dokumenten beschrieben:

- Richard and Auffray (1985), "VHF-UHF interferometric measurements, applications to lightning discharge mapping", Radio Science 20, Seiten 171 bis 192;
- 20 - Rhodes et al. (1994), "Observations of lightning phenomena using radio interferometry", J. Geophys. Res. 99, Seiten 13059 bis 13082;
- Laroche et al. (1996), "3D structure of lightning discharge within storms", 10th Int. Conf. Atmosph. Electricity, Osaka, 10. Juni 1996 bis 14. Juni 1996, Seiten 330 bis 332;
- 25 - Onuki et al. (1996), "Imaging of lightning channel in three dimensions using interferometer", 10th Int. Conf. Atmosph. Electricity, Osaka, 10. Juni 1996 bis 14. Juni 1996, Seiten 325 bis 332; und
- Richard and Lojou (1996), "Assessment of application of storm cell electrical activity monitoring to intense precipitation forecast", 10th Int. Conf. Atmosph. Electricity, Osaka, 10. Juni 1996 bis 14. Juni 1996, 30 Seiten 284 bis 287.

Die weltweit über großen Flächen eingesetzten Ortungsverfahren basieren jedoch auf weniger aufwändigen zweidimensionalen Systemen (sogenannte 2D-Systeme), bei denen sich die CG-Blitz- versus IC-/CC-Blitz-Unterscheidung schwieriger gestaltet. Einige Hersteller berichten zwar von impulsformabhängigen zuverlässigen Unterscheidungsverfahren, insgesamt ist die Literatur zu dieser Problematik jedoch äußerst widersprüchlich.

### **Darstellung der Erfindung: Aufgabe, Lösung, Vorteile**

Ausgehend von den vorstehend dargelegten Nachteilen und Unzulänglichkeiten sowie unter Würdigung des umrissenen Standes der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein System der eingangs genannten Art sowie ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzuentwickeln, dass eine genaue und zuverlässige Unterscheidung zwischen Wolke-Boden-Blitzen (C[loud]G[round]) und Wolke-Wolke-Blitzen (= I[ntra]C[loud] innerhalb einer Wolke oder C[loud-]C[loud] zwischen Wolken) gewährleistet ist.

Diese Aufgabe wird gemäß der Lehre der vorliegenden Erfindung durch ein System mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie durch ein Verfahren mit den im Anspruch 10 angegebenen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und zweckmäßige Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Mithin liegt der Kern der vorliegenden Erfindung in der dreidimensionalen Peilung von Blitzen in V[ery]L[ow]F[requency]-Netzwerken; insbesondere ist keine Nutzung von Frequenzen im Radio- oder V[ery]H[igh]F[requency]-Bereich erforderlich.

Zur Abgrenzung von konventionellen, bereits bekannten Peilverfahren gilt für die vorliegende Erfindung, dass die Peilung nicht mit nur einer oder zwei blitznahen Sensoren auf direkte Weise, das heißt nicht durch ortsnahe Anpeilen in die Höhe erfolgt, sondern durch Nutzung von Abweichungen der Signal-Ankunftszeiten an den jeweils blitznächsten Sensorstationen gegenüber anderen, nicht blitznächsten Sensorstationen.

Demzufolge befasst sich die vorliegende Erfindung mit einem neu konzipierten Blitzortungssystem, das im Prinzip zunächst auf den bewährten zweidimensionalen Verfahren (sogenannte 2D-Blitzpeilung) im V[ery]L[ow]F[requency]-Bereich basiert.

Hierzu ist anzumerken, dass in zahlreichen Ländern 2D-Blitzortungssysteme in Betrieb sind. Beispielhaft seien das nordamerikanische Netzwerk NALDN in USA [vgl. Orville, R. E. et al. (2002), "The North American Lightning Detection Network (NALDN) – First results: 1998-2000", Monthly Weather Review 130 (8), Seiten 2098 bis 2109] und das europäische Verbundsystem EUCLID erwähnt.

Letzteres EUCLID-System entstand aus einem Zusammenschluss des von Siemens betriebenen bundesdeutschen Systems BLIDS (mit US-Sensor-Technik und Netzwerk-Software) und des österreichischen ALDIS-Netzes [vgl. Diendorfer, G. et al. (1994), "Results of a performance analysis of the Austrian Lightning Location Network ALDIS". In: 22nd Int. Conf. on Lightning Protection, Sept. 19-23, Budapest, Hungary] sowie dessen Erweiterung auf zahlreiche andere umliegende Länder.

Diese Netzwerke arbeiten im VLF-Bereich und nutzen die klassischen Methoden der Richtungspeilung (sogenanntes D[irection]F[inding]) und/oder der Signal-Laufzeiten (T[ime]O[f]A[rrival]). Die von einem Blitz ausgesandte VLF-Strahlung lässt sich bei hinreichender Stärke an mehreren Sensorstationen empfangen. Zur Ermittlung des Quellortes sind

dann die an den einzelnen Stationen gemessenen Einfallsrichtungen (DF) und/oder die Laufzeitunterschiede (TOA) nutzbar.

Werden nun die Signale an nur zwei Sensoren festgestellt, liefern die Richtungen einen Peilort, der durch Einbindung der Signalzeiten optimiert werden kann. Bei Signalerfassung an mehr als zwei Stationen ist die T[ime]O[f]A[rri]val-Methode aus Gründen der Genauigkeit vorzuziehen, weil relativ leicht erreichbare Genauigkeiten von etwa einer Mikrosekunde bereits zu Ortungen von besser als einem Kilometer führen.

Dementsprechend ist im schematischen Prinzipbild gemäß Figur 5 die entscheidende, durch I[ntra]C[loud]-Entladungen (im Vergleich zu C[loud]G[r]ound-Blitzen) bedingte Laufzeitverzögerung  $dT = T_P - T_H$  dargestellt.

Sind mehr als drei Messdaten verfügbar, können die drei zu ermittelnden unbekannten Größen (= die Länge; die Breite; die Blitzzeit) mit üblichen Minimalisierungsverfahren errechnet werden. Soweit systematische Fehler ebenfalls in der Größenordnung von etwa einer Mikrosekunde bleiben, lässt sich die genannte Peilgenauigkeit auch nachhaltig im praktischen Dauerbetrieb erzielen und beispielsweise anhand von Einschlägen in Meßtürme verifizieren.

Da das System gemäß der vorliegenden Erfindung wie auch das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung eine besonders hohe Nachweiseffizienz auch im Bereich schwacher Blitze erzielt und keine Maßnahmen zur Unterdrückung von IC-Blitzen angewandt werden müssen, liefert das neue Netz erheblich mehr Entladungsereignisse als konventionelle Vergleichssysteme. Aus diesem Grunde stellt sich in ganz besonderem Maße die Frage nach der Herkunft der Entladungen.



Zu diesem Zweck wird das Netz gemäß der Lehre der vorliegenden Erfindung um einen dreidimensionalen Modus (sogenannter 3D-Modus) erweitert, so dass Emissionshöhen von Entladungen ermittelt werden können. Damit wird erfindungsgemäß ein neuartiger und entscheidender Beitrag zur Identifizierung von IC-/CC-Blitzen vorgeschlagen.

Eine derartige Vorgehensweise bietet eine Reihe von technischen wie auch wirtschaftlichen Vorteilen:

- weil nur eine Station blitznah sein muss, sind große Sensorabstände möglich, das heißt es ist kein dichtes teures Netz erforderlich;
- aufgrund der Nutzung G[lobal]P[ositioning]S[ystem]-gesteuerter Zeitmessungen können auch noch größere Entfernungen von bis zu etwa einhundert Kilometern zur Blitz-Station als "blitznah" gelten und signifikante, das heißt für die Höhenpeilung nutzbare Zeitabweichungen produzieren;
- die Verwendung von V[ery]L[ow]F[requency]-Meßnetzen (= Bereich um zehn Kilohertz) sichert eine große Reichweite der nicht blitznächsten Stationen (, die den Blitz auch noch erfassen müssen), das heißt etablierte VLF-Netze können eingesetzt werden, sofern die Zeitmessungen im Mikrosekundenbereich genau sind;
- das System gemäß der vorliegenden Erfindung wie auch das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung kann auf der Hardware herkömmlicher 2D-Blitzortungsverfahren aufsetzen; eine Verwendung "echter" 3D-Techniken im Radio- oder VHF-Bereich ist insofern nicht erforderlich, als Ziel der vorliegenden Erfindung nicht die räumlich präzise Auflösung von Blitzkanälen im 100 Meter-Bereich, sondern die Bereitstellung einer Datenbasis für eine Entscheidung hinsichtlich der

Frage ist, ob das detektierte Ereignis als I[ntra]C[loud]-Blitz einzustufen ist;

- 5      - die Existenz von Blitzemissionen aus Kilometer-Höhen lässt sich theoriefrei und ohne Annahme justierbarer Parameter aus einem Vergleich der an einzelnen (, jeweils blitznächsten) Sensoren und an Gruppen von (nicht blitznächsten) Sensoren gemessenen Verteilungen von Zeitabweichungen zweier Blitzzeiten (im Netz durch Gesamtpeilung ermittelte Blitzzeit minus Differenz von Ankunftszeit und Laufzeit an der 10      jeweiligen blitznächsten Station) erkennen;
- 15      - die Emissionshöhe lässt sich mit Algorithmen, die mit denen der Ortspeilung zumindest vergleichbar sind, durch Hinzufügen der Höhenvariablen berechnen;
- 20      - das Verfahren kann in andere existierende Blitzortungssysteme integriert werden, sofern die notwendige Zeitgenauigkeit erzielt wird;
- 25      - das Verfahren kann auch bei intensitätsschwachen Blitzen eingesetzt werden, sofern der Blitz an drei, bei Nutzung von Einfallsrichtungen zur Peilung auch an nur zwei Sensoren gemessen wird;
- 30      - die Ergebnisse des Verfahrens können dazu benutzt werden, Fragen einer Impulsform-Diskriminierung von Wolke-Wolke-Blitzen (IC) gegenüber Wolke-Erde-Blitzen (CG) zu klären; und
- 30      - das System gemäß der vorliegenden Erfindung wie auch das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung kann zusammen mit der Impulsform-Analyse zur Diskriminierung eingesetzt werden, um den (kleinen) Prozentsatz strittiger Fälle zu lösen, der weder mit dem einen Verfahren noch mit dem anderen Verfahren klar entscheidbar ist.

Neben den vorstehend dargelegten technischen sowie wirtschaftlichen Vorteilen bietet die vorliegende Erfindung auch eine Reihe von Anwendungsvorteilen, so etwa

- meteorologisch und wolkenphysikalisch wichtige Erkenntnisse über das Auftreten von IC-Blitzen,
- eine höchst sichere Unterscheidung von CG-Blitzen versus IC-Blitzen,
- eine bessere Identifizierung von CG-Blitzen, was zu wichtigen Folgedaten in Form von zuverlässigeren Blitzdichte-Karten führt (Verbesserung des Blitzschutzes, was zum Beispiel für die Versicherungswirtschaft interessant ist) oder
- eine Erfassung von wesentlich mehr Blitzen, als herkömmliche Netze melden, was in Zusammenhang mit CG-Identifizierungen zu deutlich höheren Boden-Blitzdichten als bisher angenommen führt.

Des Weiteren liefert die vorliegende Erfindung einen Lösungsbeitrag zu einer Reihe von Schwierigkeiten, so etwa

- dem Erfordernis einer genauen Zeitbestimmung auch bei intensitätsschwachen, verrauschten, komplex geformten und/oder übersteuerten Signalen, um eine möglichst quantitative Erfassung und Unterscheidung von Blitzen (IC[loud] versus C[loud-]G[round]) zu gewährleisten,
- der Notwendigkeit einer effizienten Erkennung nicht blitzkorrelierter Störsignale,
- dem Erfordernis einer optimalen Einrichtung des Zeitmanagements aller Stations- und Netzkomponenten oder
- der Notwendigkeit einer Benutzung komplexer Algorithmen zur möglichst zuverlässigen Entladungsunterscheidung von echten und statistisch sowie durch systematische Fehler bedingten Zufalls-Höhenpeilungen.

Des Weiteren ermöglicht es die vorliegende Erfindung, neue Fragen betreffend die VLF-Emission aus Gewitterwolken zu diskutieren. So ist für

die Möglichkeit der Höhenpeilung erfindungswesentlich, dass die Verzögerung der Blitz-Ankunftszeit ihre Ursache in der längeren Laufzeit zur Emissionsquelle hat und nicht durch apparative oder sonstige systematische Fehler verursacht wird. Im Folgenden werden die fünf wichtigsten möglichen Effekte diskutiert, die einen Einfluss auf die Höhenbestimmung haben können:

- (i) Zunächst könnte unterstellt werden, dass verzögerte Ankunftszeiten aufgrund von Systemfehlern rein statistisch verteilt auftreten und keine physikalische Bedeutung haben. Da die in Rede stehenden Verzögerungen je nach Distanz zum Blitz meist mehrere Mikrosekunden betragen, müssten relativ große Zeitfehler unterstellt werden, die aufgrund der nachweislich genauen Peilungen auszuschließen sind.

Ferner würde man dann erwarten, dass Fehler mit kleineren Verzögerungszeiten häufiger auftreten und die resultierende Höhenverteilung entgegen den tatsächlichen Ergebnissen zu niedrigen Blitzhöhen nahe Null stark zunimmt.

Eine Untersuchung der Zeitabstände zwischen ermittelter Blitzzeit und den aus den Einzelstationen gemäß Ankunftszeit und Laufzeit zum Blitzort resultierenden Blitzzeiten ergeben erfindungsgemäß keinerlei systematische Abweichungen der Zeitmeldungen einer Station relativ zur Gesamtheit der Stationen.

- (ii) Signalverzögerungen an einer Sensorstation können durch elektronische Effekte zustande kommen und an den verschiedenen Stationen unterschiedlich stark ausgeprägt sein.

Wäre dies der Fall, würde die 3D-Peilung in praktisch allen Fällen zu fiktiven, stationsbezogen unterschiedlichen Blitzhöhen führen und

nicht nur bei einem Bruchteil der Signalgruppen. Zudem wäre dieser Fehler in der Prüfung gemäß vorstehendem Punkt (i) zu entdecken.

- 5 (iii) Falsche Ankunftszeiten können durch fehlerhafte Auswertung der eintreffenden Signale verursacht sein; insbesondere bei Impulsen mit mehreren signifikanten Extremwerten oder bei nicht aufgelösten Doppelpeak-Strukturen könnte eine falsche Zeitmarkierung entstehen.

10 Bei noch gut aufgelösten Peaks würde ein solcher Fehler jedoch in der Regel zum gegenteiligen Effekt führen (--> zu frühe Ankunftszeit anstatt zu später Ankunftszeit), weil die blitznächste Station das stärkste Signal empfängt und daher kaum zu erwarten ist, dass der erste relevante Signalpeak unterdrückt und statt dessen der zweite ("verzögerte") Peak zur Zeitmarkierung erfasst wird.

15 Bei schlecht aufgelösten Doppelstrukturen könnte allerdings bei der blitznächsten Station das Maximum im zeitlich späteren Teil liegen, während bei weiter entfernten Stationen infolge von Dämpfungs- und Ausbreitungseffekten die Struktur nicht mehr aufgelöst und ein früheres Maximum in der Mitte des Gesamtpeaks gefunden wird. Die Signalauswertung gemäß der vorliegenden Erfindung berücksichtigt und löst derartige Probleme.

- 20 (iv) Die Sensoren können insbesondere bei nahen Blitzen übersteuern und daher keine oder verfälschte Zeitmarkierungen und Einfallrichtungen melden.

25 Es wird über vorhandene Ortungsnetze häufig berichtet, dass zur Vermeidung solcher Komplikationen blitznahe Stationen bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden. Für eine 3D-Peilung würden dann die interessantesten Informationen verloren gehen.

30

Die Empfangsstationen gemäß der vorliegenden Erfindung sind daher auf hohe Intensitätsauflösung mit großem Dynamikbereich ausgelegt – ohne bei schwächsten Signalen unempfindlich zu werden –, und die Impulsbehandlung kann auch gesättigte Signale in zuverlässiger Weise verarbeiten. Dies ist dadurch erleichtert, dass das Feld  $B(t)$  und nicht die Ableitung  $dB/dt$  gemessen wird, so dass Integrationsprozeduren entfallen.

(v) Es ist wohlbekannt, dass lokale "site-errors" zur Verfälschung der gemessenen Einfallsrichtungen führen; weniger ist über die damit verbundenen Zeitfehler berichtet worden.

Sollten diese Zeitfehler den Bereich von etwa einer Mikrosekunde übersteigen, was durchaus vorstellbar erscheint, würden sich zwar nicht zwingend gravierende Fehler in der 2D-Lokalisierung des Netzes, jedoch fiktive Emissionshöhen in der dreidimensionalen Ortung ergeben. Ein solcher Effekt würde dann bei nahezu allen Signalen auftreten und dadurch feststellbar sein (vgl. vorstehender Punkt (i)).

In Anbetracht der vorstehenden Befunde kann bei der vorliegenden Erfindung davon ausgegangen werden, dass die hier vorgestellten 3D-Peilungen reale Laufzeitverzögerungen signalisieren, die durch Emission in den Gewitterwolken anstatt in Bodennähe entstehen.

Die erfindungsgemäß ermittelten Blitzhöhen sind auch mit der Geometrie typischer Gewitterwolken gut verträglich. Da allgemein und aus guten Gründen angenommen wird, dass CG-Blitze nahe am Boden die Hauptausstrahlung im VLF-Bereich erzeugen, ist die Schlussfolgerung naheliegend, dass es sich bei den 3D-Peilungen um negative und positive IC-Blitze handelt, die eine starke vertikale Entladungsrichtung aufweisen.

Eher horizontal ausgerichtete IC- oder CC-Blitze dürften wegen der für die erfindungsgemäß angewandte Meßtechnik ungünstigeren Strahlungscharakteristik kaum an mehreren Stationen mit Amplituden gemäß einer  $1/R$ -Abhängigkeit zu empfangen sein.

5

Die vorliegende Erfindung beinhaltet auch die Option einer Trennung von IC-(bzw. CC-)Blitzen in vertikale und horizontale Blitzkanäle, das heißt die Möglichkeit einer Diskriminierung von IC-(bzw. CC-)Blitzen, die schwerpunktmäßig vertikal oder horizontal verlaufen.

10

Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass die an einer ausreichenden Anzahl von Sensorstationen gemessenen Amplituden  $A$  hinsichtlich ihrer Entfernung  $R$  geprüft werden:

15

Ist die entfernungsabhängige Amplitude  $A(R)$  mit einem  $1/R$ -Gesetz verträglich und ist das Blitzereignis mittels der 3D-Methode als I[ntra]C[loud]- bzw. I[nter]C[loud]-Typ eingestuft worden, dann handelt es sich um einen vorwiegend vertikalen Blitz.

20

Lassen sich jedoch starke Abweichungen vom  $1/R$ -Gesetz feststellen und lassen sich diese dadurch korrigieren, dass die Strahlungscharakteristik gemäß zweier Winkel, zum Beispiel des Höhenwinkels und des Winkels zwischen Blitzachse und Richtung zum Sensor, berücksichtigt wird, dann handelt es sich um einen vorwiegend horizontalen Blitzkanal.

25

Die von der Entfernung  $R$  abhängigen Amplituden  $A(R)$  können durch variable Bodenleitfähigkeit bedämpft sein, was eine  $1/R$ -Abhängigkeit stören kann. In der vorliegenden Erfindung wird diesem Umstand Rechnung getragen, indem Gruppen von Blitzen aus engen räumlichen Bereichen gemäß einer bevorzugten Weiterbildung des vorliegenden Systems wie auch des vorliegenden Verfahrens gemeinsam analysiert werden. Mit dieser optionalen technischen Maßnahme lässt sich

30

feststellen, ob bei gleicher oder sehr ähnlicher Laufstrecke die Dämpfungseffekte beständig oder nur bei einzelnen (, horizontalen) Blitzen auftreten.

5 Diese letztgenannte Gruppenanalyse kann zweckmäßigerweise sogar online erfolgen, wenn das jeweilige Gewitter innerhalb des gewählten Meldezeitraums für dreidimensionale Blitzortungen (von zum Beispiel einer Minute) genügend Blitze aus der gleichen Gegend liefert. Ansonsten kann diese Zusatzinformation über horizontale Blitze auf jeden Fall offline,  
10 also bei nachträglicher Analyse, festgestellt werden.

Interessant ist im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung noch die Frage, inwieweit aufwärts gerichtete Erde-Wolke-Blitze (G[round-]  
15 C[loud]) an der Wolkenuntergrenze ausstrahlen. Insofern ist es nützlich, die erfindungsgemäß erhaltenen Befunde beispielhaft anhand echter 3D-Systeme zu überprüfen [vgl. Defer, E. et al. (2000), "Simultaneous observations of CG activity from NALDN and ONERA-ITF interferometric mapper during the STERAO-A experiment". In: Int. Lightning Detection Conf., Nov. 7-8, Tucson, Arizona (Global Atmospheric Inc.)].

20 Eine Verfeinerung der vorliegenden Erfindung, also des Pseudo-3D-Systems bzw. des Pseudo-3D-Verfahrens zur Ermittlung von Blitz-Emissionshöhen im VLF-Bereich hinsichtlich noch genauerer Zeitauflösungen, als sie in der ersten Phase des Netzes realisiert sind, und die Kombination mit Impulsform-Analysen erlaubt mit minimalem  
25 Zusatzaufwand eine zuverlässigere und nahezu quantitative (Online-)Diskriminierung von CG-Blitzen und IC-Blitzen.

30 Grundsätzlich erlaubt die durch die Lehre gemäß der vorliegenden Erfindung vermittelte Nutzung des 2D-Blitzortungsnetzes als Pseudo-3D-Netz die Identifizierung von Entladungen, die in Gewitterwolken aus großer Höhe emittiert werden.



Voraussetzung für die Anwendung des Systems wie auch des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung ist eine auch bei komplexen Blitz-Impulsformen auf etwa eine Mikrosekunde genaue Bestimmung der Signal-Ankunftszeiten an den einzelnen Sensorstationen, die bei optimaler Nutzung von GPS-Empfängern und bei intelligenter Impulsanalyse erzielbar ist.

Es ist also erfindungsgemäß möglich, einen Großteil der in einem Ortungsnetz peilbaren Blitze, in Netzen mit geringeren Stationsabständen sogar die Mehrzahl aller Blitze, einer 3D-Analyse zu unterziehen und sehr direkt – ohne jegliche theoretische Annahme und ohne jeglichen justierbaren Parameter – festzustellen, ob die Emission bodennah erfolgte.

Damit ist ein wesentlicher Beitrag zu einer nachvollziehbar zuverlässigen Identifizierung von CG-Blitzen auch in räumlich großen Netzen erzielt, ohne nennenswerten Zusatzaufwand zu betreiben. Die Vorteile "echter" 3D-Systeme bleiben davon gänzlich unberührt, weil diese grundsätzlichere physikalische Vorgänge sowie kleinräumigere Blitzkanal-Auflösungen zum Ziel haben, als dies bei der hier behandelten reinen Blitzortung der Fall ist.

Die vorliegende Erfindung betrifft schließlich die Verwendung mindestens eines Systems gemäß der vorstehend dargelegten Art und/oder eines Verfahrens gemäß der vorstehend dargelegten Art zur Lokalisierung

- der Höhe, insbesondere der Emissionshöhe, und/oder
- der Direktionalität, insbesondere des räumlichen Richtungsverlaufs, von atmosphärischen Entladungen; insbesondere kann die vorliegende Erfindung bei der genauen sowie zuverlässigen Abgrenzung von Entladungen innerhalb einer Gewitterwolke (sogenannte I[ntra]C[loud]-Blitze) und/oder zwischen mindestens zwei Gewitterwolken (sogenannte

C[loud-]C[loud]-Blitze) gegenüber Entladungen zwischen Wolke und Erde (sogenannte C[loud-]G[round]-Blitze) eingesetzt werden, was wiederum eine im Vergleich zum Stand der Technik zuverlässige Erstellung von Blitzdichtekarten ermöglicht.

5

Unabhängig hiervon oder in Verbindung hiermit kann die vorliegende Erfindung, das heißt das System gemäß der vorstehend dargelegten Art und/oder das Verfahren gemäß der vorstehend dargelegten Art im Echtzeit- oder Kurzfristbereich

10

- zur Vorhersage und zur Lokalisation, insbesondere zur Früherkennung, von klimatologischen und/oder meteorologischen Vorgängen, wie etwa von Blitzschlag, von (Extrem-)Niederschlag, von Gewittern, von Hagel, von Orkanen, von (Stark-)Regen, von Sturm, von Unwettern, von Wind oder von anderen besonderen klimatologischen und/oder meteorologischen Ereignissen,

15

- zur dreidimensionalen Ortung von Entladungsquellen, zum Beispiel von Blitzen, unter Einbeziehung schwacher Signale zum Optimieren der Vorhersage und Lokalisation, insbesondere der Früherkennung, von Gewitterzellen,

20

- zur Erkennung von Signalherden zur Vorhersage und Lokalisation, insbesondere zur Früherkennung, von Gewitterzellen,

- zur Analyse von Gruppen der Daten und Informationen zur Charakterisierung meteorologischer Klassen,

- zur Extrapolation von räumlichen Zugbahnen erkannter Gewitterherde und/oder

25

- zur Gewinnung biometeorologischer Informationen verwendet werden.

30

## **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

Wie bereits vorstehend erörtert, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Hierzu wird einerseits auf die den Ansprüchen 1 und 10 nachgeordneten Ansprüche verwiesen, andererseits werden weitere Ausgestaltungen, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung nachstehend anhand des durch die Figuren 1 bis 8D veranschaulichten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Es zeigt:

Fig. 1 in schematischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel eines Systems gemäß der vorliegenden Erfindung, das nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung arbeitet;

Fig. 2A in schematischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Meßstation des Systems aus Fig. 1;

Fig. 2B in perspektivischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Antenneneinheit, die der Meßstation aus Fig. 2A zugeordnet ist;

Fig. 3 in schematischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Zentralstation des Systems aus Fig. 1;

Fig. 4 in topographischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer geographischen Verteilung der Meßstationen und der Zentralstation des Systems aus Fig. 1;

Fig. 5 in schematischer Darstellung das Prinzip des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, wobei H die Emissionshöhe der V[ery]L[ow]F[requency]-Blitzstrahlung ist;

Fig. 6 in diagrammatischer Darstellung die innerhalb eines auf der Rechtsachse aufgetragenen Längengradbereichs sowie innerhalb eines auf der Hochachse aufgetragenen Breitengradbereichs erfolgenden Signale von nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ausgewerteten atmosphärischen Entladungen;

Fig. 7A in diagrammatischer Darstellung die nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ermittelte, auf der Hochachse aufgetragene zeitliche Verzögerung der Signal-Ankunftszeiten als Funktion der auf der Rechtsachse aufgetragenen Beobachtungsdistanz für verschiedene Emissionshöhen;

Fig. 7B in diagrammatischer Darstellung ein erstes Beispiel für eine nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ermittelte Entladungs-Höhenverteilung (= auf der Rechtsachse vermerkte Anzahl der Entladungen, aufgetragen gegen die auf der Hochachse vermerkte, in Kilometern gemessene Emissionshöhe);

Fig. 7C in diagrammatischer Darstellung ein zweites Beispiel für eine nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ermittelte Entladungs-Höhenverteilung (= auf der Rechtsachse vermerkte Anzahl der Entladungen, aufgetragen gegen die auf der Hochachse vermerkte, in Kilometern gemessene Emissionshöhe);

Fig. 7D in diagrammatischer Darstellung ein drittes Beispiel für eine nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ermittelte Entladungs-Höhenverteilung (= auf der Rechtsachse vermerkte Anzahl der Entladungen, aufgetragen gegen die auf der Hochachse vermerkte, in Kilometern gemessene Emissionshöhe); und

Fig. 8 in diagrammatischer Darstellung die auf der Hochachse aufgetragene Verteilung (= Anzahl) der nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ermittelten, auf der Rechtsachse aufgetragenen Zeitabweichungen (in  $\mu$ s oder Mikrosekunden) der Ankunftssignale (negative Zeiten bedeuten Zeitverzögerung).

Gleiche oder ähnliche Ausgestaltungen, Elemente oder Merkmale sind in den Figuren 1 bis 8 mit identischen Bezugszeichen versehen.

### **Bester Weg zur Ausführung der Erfindung**

Das anhand der Figuren 1 bis 8 veranschaulichte, im speziellen als Sferics-/Blitzmessungsanordnung ausgebildete System (= gewissermaßen dreidimensionales Blitzortungsnetzwerk 100) weist mehrere, nämlich bis zu einhundert Einzel-Meßstationen 20, 20' (in Figur 1 sind exemplarisch vier derartige Meßstationen 20, 20' dargestellt) sowie eine Zentraleinrichtung oder Zentralstation 10 auf.

Wie der Darstellung der Figuren 1 und 2A entnehmbar ist, ist jeder Meßstation 20, 20' eine Antenne bzw. ein Antennenkörper 30 (vgl. Figur 2B) zugeordnet, der für die Messung niederfrequenter magnetischer Felder ausgelegt ist.

Hierbei ist aus Figur 2B ersichtlich, dass dieser Antennenkörper 30 in mechanisch selbsttragender Form ohne bewegliche und/oder witterungssensitive Komponenten zum Aufstellen im Freien ausgelegt ist. Der Primärkreis des Antennenkörpers 30 ist vom Sekundärkreis des Antennenkörpers 30 galvanisch getrennt; die elektromagnetischen Felder sind breitbandig und rauscharm auskoppelbar und damit zeitgetreu messbar.

Die im Gehäuse der Meßstation 20, 20' angeordnete Stationselektronik 40 weist zunächst einen Verstärker 42 zur rauscharmen Verstärkung der vom Antennenkörper 30 kommenden Signale S auf. Dem Verstärker 42 nachgeschaltet ist eine Filterstufe 44. Das mittels der Filtereinheit 44 gefilterte Signal S" wird sodann in der Einheit 46 einer Signaldigitalisierung unterzogen.

Im Hinblick auf die Stationselektronik 40 ist zu bemerken, dass zwischen der Digitalisierungseinheit 46 und einer Speichereinheit 50, zum Speichern der von der Stationselektronik 40 verarbeiteten Daten und Informationen D, ein P[ersonal]C[omputer] 22 geschaltet ist.

Ausgehend von dieser Speicheranordnung 50 kann über eine grundsätzlich bidirektional ausgestaltete Verbindung 60 eine Übertragung ausgewählter Parameter der Signale S an die Zentralstation 10 vorgenommen werden.

In Figur 3 ist der Aufbau der Zentralstation 10 dargestellt. Die Sferics-Online-Aufzeichnung erfolgt in verschiedenen Amplituden- und Zeitbereichen an zwei getrennten Aufzeichnungssystemen 40, 40'. Beiden Aufzeichnungssystemen 40, 40' steht eine hochgenaue G[lobal]P[ositioning]S[ystem]-Zeitbasis 38 mit einer Genauigkeit von etwa dreihundert Nanosekunden zur Verfügung. Allen anderen Einzelkomponenten des lokalen Stationsnetzes wird die GPS-Zeit über einen zentralen Datenserver 70 zur Verfügung gestellt.

Das als Stationselektronik ausgebildete erste Aufzeichnungssystem 40 (vgl. hierzu auch Figur 2A) dient der Erfassung von sogenannten Standard-Sferics und ist Bestandteil nicht nur der Zentralstation 10, sondern auch aller Meßstationen 20, 20'. Die Aufzeichnung der Feldamplituden erfolgt hier jeweils für ein Zeitintervall von 512

Mikrosekunden in einem Amplitudenbereich der magnetischen Feldstärke bis sechs Nanotesla.

Ist die spezifische Triggerbedingung für eine Komponente des Signals S erfüllt, wird die GPS-Ereigniszeit in einem Hardwareregister eingefroren. Nach Beendigung der Digitalisierung wird aus dem Verhältnis der zeitabhängigen Magnetfeld-Verläufe der magnetische Feldvektor berechnet und dessen zeitabhängiger Betrag, das heißt die aktuelle Sferics-Lage, auf einem Bildschirm oder Monitor 72 dargestellt.

Mit einer Unsicherheit von 180 Grad gibt der magnetische Feldvektor die Einfallsrichtung des Signals S an. Steht auch der zeitliche Verlauf der elektrischen Feldamplitude zur Verfügung, kann die Einfallsrichtung relativ genau bestimmt werden. Diese Einfallsrichtung wird zusammen mit dem Triggerzeitpunkt und dem zeitlichen Verlauf des Magnetfeldbetrags auf dem zentralen Datenserver 70 abgelegt. Zusätzlich erfolgt eine F[ast]F[ourier]T[ransformation] 74 des Signals S mit Online-Darstellung.

Für Belange der Blitzforschung anhand von Meßanordnungen im V[ery]L[ow]F[requency]-Bereich (sogenannte angewandte Sferics-Forschung) ist an der Zentralstation 10 ein zweites Aufzeichnungssystem 40' installiert, das Amplituden jeweils

- für ein Zeitintervall von 512 Mikrosekunden sowie
- für ein Zeitintervall von 655 Mikrosekunden

in einem Feldstärkebereich bis sechzig Nanotesla aufzeichnet.

Mit diesem zweiten Aufzeichnungssystem 40' lassen sich mithin sowohl die jeweils ersten Ereignisse einer möglichen Folge von Teilblitzen über einen Zeitraum von 512 Mikrosekunden als auch die gesamte zeitliche Struktur von Teilimpulsen innerhalb eines Blitzes P erfassen. Die Aufzeichnung der starken, aus dem Nahbereich stammenden Signale S

erfolgt daher gleichzeitig in zwei verschiedenen Zeitfenstern mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung:

5 Neben dem Standard-Zeitfenster von 512 Mikrosekunden (vgl. erste Aufzeichnungseinheit 40), das im Allgemeinen das vom ersten Teilblitz (= sogenannter "First Return Stroke") erzeugte Signal S in hoher Auflösung aufzeichnet, wird die zeitliche Abfolge der einzelnen Strokes in einem 655 Mikrosekunden langen Zeitfenster erfasst (zeitliche Stützstellen von sechzehn Kilobit).

10 Die Empfindlichkeit kann wegen der im Allgemeinen starken Signale S reduziert werden, so dass sich bei der zweiten Aufzeichnungseinheit 40' ein Meßbereich bis etwa sechzig Nanotesla ergibt. Der Triggerzeitpunkt, die Einfallsrichtung sowie beide digitalisierten Signalverläufe werden  
15 wiederum zentral auf dem Server 70 gespeichert.

20 Das zweite Aufzeichnungssystem 40' an der Zentralstation 10 erlaubt es also, Ereignisse in zwei verschiedenen Zeitfenstern mit unterschiedlicher Auflösung zu beobachten. Damit können sowohl die zeitliche Abfolge der Strokes innerhalb eines Blitzereignisses als auch hochaufgelöst die von einzelnen Strokes verursachten Sferics aufgezeichnet werden.

25 Mittels der Kommunikationseinheit 76 können sämtliche benötigten Daten und Informationen D von den externen Meßstationen 20, 20' abgerufen und auf dem zentralen Server 70 abgelegt werden. Für bestimmte Standard-Daten geschieht dies vollautomatisch zu festgelegten Zeitpunkten; spezielle Datensätze können manuell übertragen werden.

30 Zudem werden mittels der Kommunikationseinheit 76 auch Datenanforderungen von außen bedient; hierfür stehen ein f[file]t[ransfer]p[rotocol]-Server sowie eine Mailbox zur Verfügung. Alle



Meßstationen 20, 20' sind über Modem 76m und Wählleitung 76w an die zentrale Station 10 angebunden.

Um die gewonnenen Sferics-Daten auf Korrelationen mit meteorologischen Parametern hin untersuchen zu können, sind Wetter-Informationen Q erforderlich. Hierfür stehen im Wesentlichen zwei Quellen zur Verfügung, nämlich

- ein Meteosat-Empfänger 16, der stets die aktuellen Satellitenbilder anzeigt und archiviert, sowie
- die Mailbox 18 eines Wetterdienstes, die per Wählleitung den Zugriff auf Bodenwetterkarten, auf Radarwetterkarten oder auf dergleichen ermöglicht.

Mittels eines Bildschirms oder Monitors werden somit Satellitenbilder, die Bodenwetterkarten, die Radarwetterkarten und dergleichen online dargestellt (= Bezugszeichen 78 in Figur 3). Wie schließlich der Darstellung gemäß Figur 3 entnehmbar ist, sind (in Figur 3 exemplarischerweise drei) Arbeitsplätze 80 zur Datenanalyse an den zentralen Server 70 [= File Server, GPS Time Server (Netware Server)] angeschlossen.

Die erfindungswesentlichen Funktionen der Zentralstation 10 bestehen darin

- die von den jeweiligen Meßstationen 20, 20' übermittelten Daten und Informationen D, insbesondere auch in hohen Raten und/oder insbesondere auch ohne zeitlichen Verlust, auszuwerten und
- abgestufte und/oder vollautomatische Warnungen vor klimatologischen und/oder meteorologischen Vorgängen, insbesondere vor Gewittern, abzugeben.

Bei dem erfindungsgemäßen Blitzortungssystem 100 ist es gelungen, sämtliche wesentlichen Komponenten besonders effizient zu gestalten,

wobei auf Einfachheit und Kostenminimierung Wert gelegt wird. Die wesentlichen Eigenschaften seien kurz aufgeführt:

Die Sensoren für die V[ery]L[ow]F[requency]-Strahlung von Blitzen sind zwei einfache, gekreuzt angeordnete Spulen, mit denen infolge geeigneter Systemdimensionierung der magnetische Fluss  $B(t)$  aus den beiden Komponenten  $B_x(t)$  und  $B_y(t)$  des Blitzfeldes gemessen wird (vgl. Figur 2B).

Eine hinreichend getreue Abbildung des zeitlichen Verlaufs der eintreffenden Impulse ist im Bereich von knapp zehn Kilohertz bis etwa vierhundert Kilohertz gegeben. Aus dem Verhältnis der magnetischen Feldkomponenten  $B_x$  und  $B_y$  lässt sich die Einfallsrichtung der Blitzstrahlung ermitteln. Der VLF-Sensor arbeitet passiv und benötigt keine Stromversorgung.

Zur Zeitmarkierung wird ein handelsüblicher, separat montierter G[lobal]P[ositioning]S[ystem]-Empfänger verwendet, mit dem die Signalankunftszeit auf etwa eine Mikrosekunde genau festgelegt werden kann; diese Genauigkeit ist für die Funktionsfähigkeit und für die Effizienz der Peilungen von Bedeutung.

Die Sensordaten laufen in einen handelsüblichen P[ersonal]C[omputer] mit speziell entwickelter Modulkarte zur Digitalisierung und Vorverarbeitung.

Die Abtastrate zur Signaldigitalisierung ist auf ein Megahertz eingestellt. Einlaufende Signale werden kontinuierlich erfasst und parallel analysiert, so dass auch bei extrem hohen Raten kein Verlust entsteht. Die maximale Verarbeitungsrate liegt bei über tausend Signalen pro Sekunde.

Zu jedem Signal wird ein kompaktes Datenpaket gebildet und per Telefonleitung an eine Zentrale übertragen; aufgrund der D[aten]F[ern]Ü[bertragung]-Bandbreite lassen sich nur etwa einhundert Signale pro Sekunde tatsächlich übertragen, was sich jedoch auch bei stärksten Gewittern als ausreichend erweist, so dass Bufferfunktionen nur selten benötigt werden.

Die gesamten digitalisierten Impulse  $B_x(t)$  und  $B_y(t)$  werden an jeder Station archiviert und in aktivitätsarmen Zeiten, das heißt meist nachts abgerufen, um zu Forschungs- und Entwicklungszwecken nutzbar zu sein.

Die Sensoren 20, 20' (vgl. Figur 2A) sind an zum Beispiel sechs Standorten in Süddeutschland (vgl. Figur 4) in einem mittleren Abstand von etwa 115 Kilometern montiert, laufen im Dauerbetrieb und senden Daten zur Zentrale 10 (vgl. Figur 3).

Der Zentralrechner ist ebenfalls ein üblicher P[ersonal]C[omputer], der mit Software zur Datenorganisation und zur Blitzpeilung ausgerüstet und für den kontinuierlichen Betrieb ausgelegt ist. Auch größere Netze lassen sich aufgrund der effizient gestalteten Betriebsmodi und Softwarelösungen erfindungsgemäß mit einem geeignet ausgestatteten P[ersonal]C[omputer] betreiben, so dass für die Anwendung der vorliegenden Erfindung keine neuen und/oder aufwändigen Zusatzmaßnahmen erforderlich sind.

Auf der Basis des anhand Figur 5 veranschaulichten Prinzips der vorliegenden Erfindung, wonach

- die Emissionshöhe H und/oder
- die Direktionalität C, das heißt der räumliche Richtungsverlauf

einer Blitzentladung P lokalisiert werden kann, wenn die Abweichung der Ankunftszeit des Signals S an der der Blitzentladung P nächstgelegenen Meßstation 20 von der Ankunftszeit desselben Signals S an zum Beispiel

5 drei der Blitzentladung P nicht nächstgelegenen Meßstationen 20' bestimmt werden kann (vgl. Figur 1), sind als praktisches Beispiel gemessene Blitze im Überwachungsgebiet mit Längen von 9,5 Grad bis 13,3 Grad und mit Breiten von 47 Grad bis 49,8 Grad in Figur 6 dargestellt.

10 Es handelt sich um etwas über 14.000 Blitze einschließlich Teilblitzen, die an mindestens drei Sensoren 20, 20' erfasst wurden. Peilungen mit nur zwei Sensoren 20, 20' sind nicht enthalten und würden die Gesamtzahl an Ereignissen noch steigern; die Einbeziehung dieser Daten erfordert jedoch aus Gründen der Vermeidung von Fehlpeilungen vorher eine Korrektur der Peilrichtungen hinsichtlich der sogenannten "site-error", die erst nach einer Gesamtauswertung von Saisondaten erfolgen kann.

15 Die in den Figuren 6 bis 8 vorgestellten Daten des Netzes 100 gemäß der vorliegenden Erfindung sind in sich konsistent gepeilt und zeigen eine ersichtlich meteorologisch sinnvolle Struktur. Es erhebt sich nun die Frage, wie die Aufteilung in C[loud]G[round]-Blitze und in I[ntra]C[loud]-Blitze zu bewerkstelligen ist.

20 Die zur Diskriminierung von CG- und IC-Blitzen vorliegende Literatur ist widersprüchlich und soll hier nicht vertieft werden. Diese Frage kann jedenfalls noch als offen betrachtet werden, wobei von noch andauernden Impulsform-Analysen mit verbesserter Zeitauflösung mehr Klarheit  
25 erwartet werden kann.

30 Demzufolge wird das 2D-Netz gemäß der Lehre der vorliegenden Erfindung erweitert, nämlich in Form der Nutzung dieses 2D-Netzes als Pseudo-3D-Netz, wodurch eine präzise Erfassung der Signalzeiten, insbesondere der Signallaufzeiten, an den einzelnen Sensorstationen 20, 20' realisiert wird.

Auf diese Weise eröffnet sich die Möglichkeit, dreidimensionale Peilungen bei hinreichend stationsnahen Blitzen auszuführen. Das Schema zeigt Figur 7A, während die Figuren 7B, 7C und 7D die entsprechende Sensitivität für Höhenpeilungen darlegen:

5

So ist in Figur 7A die erwartete Verzögerung der Ankunftszeiten der Signale  $S$  (in Mikrosekunden:  $\mu s = \mu sec$ ) als Funktion der (Beobachtungs-)Distanz (in Kilometern) für verschiedene Emissionshöhen  $H$  dargestellt, nämlich

10

- für eine Emissionshöhe  $H$  von fünf Kilometern (= unterste Kurve),
- für eine Emissionshöhe  $H$  von 7,5 Kilometern (= zweitunterste Kurve),
- für eine Emissionshöhe  $H$  von zehn Kilometern (= mittlere Kurve),
- für eine Emissionshöhe  $H$  von 12,5 Kilometern (= zweitoberste Kurve) und
- für eine Emissionshöhe  $H$  von fünfzehn Kilometern (= oberste Kurve).

15

Figur 7B zeigt die Verteilung (= auf der Rechtsachse aufgetragene Anzahl) der auf der Hochachse aufgetragenen, in Kilometern gemessenen Emissionshöhen  $H$  von 951 Blitzen, die in einem Umkreis von bis zu etwa sechzig Kilometern um drei Meßstationen gepeilt werden. Es zeigt sich ein Emissionsmaximum in einer Höhe  $H$  von knapp unterhalb zehn Kilometern.

20

Hierbei haben mindestens drei weitere Meßstationen die Blitze erfasst. Insgesamt wurden im gleichen Zeitraum 6.929 Blitze an vier oder mehr Meßstationen gepeilt; hinzu kommen etwa 7.800 Peilungen mit drei Meßstationen, die nur unter zusätzlicher Verwendung von Peilrichtungen 3D-Peilungen erlauben.

25

30

In den Figuren 7C und 7D ist jeweils eine entsprechende Blitz-Höhenverteilung, das heißt eine Verteilung der Emissionshöhe  $H$  von

dreidimensional gepeilten Blitzen während eines Gewitters zu anderen Zeitpunkten als in Figur 7B gezeigt. Es ergibt sich ein Emissionsmaximum

- in einer Höhe H zwischen sechs und sieben Kilometern (vgl. Figur 7C) bzw.

5 - in einer Höhe H von etwa zehn Kilometern (vgl. Figur 7D).

Die dargestellten Daten enthalten keine Bodenblitze.

10 Gemäß der vorliegenden Erfindung ist bei einer unterstellten Zeitauflösung der Blitz-Ankunftszeiten von etwa einer Mikrosekunde eine Höhenpeilung zumindest im Entfernungsbereich von bis zu etwa hundert Kilometern möglich.

15 Die Ergebnisse der darauf basierenden Auswertungen sind in den Figuren 7A bis 7D exemplarisch dargestellt. Es erweist sich, dass der Schwerpunkt der V[ery]L[ow]F[requency]-Ausstrahlung von Entladungen in zahlreichen Fällen nicht bodennah, sondern in größerer Höhe innerhalb der Gewitterwolken liegt.

20 Die Methode gemäß der vorliegenden Erfindung sowie ihre Ergebnisse sollen nun näher hinterfragt werden, um die Relevanz und die Verlässlichkeit besser beurteilen zu können.

25 Wird das Verfahren anhand eines konkreten Beispiels veranschaulicht, das für die hier vorgestellten Höhenpeilungen typisch ist, so kann ein ungewöhnlich starker Blitz herangezogen werden, dem 251 Millisekunden später eine einzige schwächere Entladung am gleichen Ort folgt.

30 Tabelle 1 listet die wesentlichen Daten des Peilverfahrens zu diesem Ereignis auf, nämlich die Peildaten des Hauptblitzes mit dem um 251 Millisekunden späteren Folgeblitz:

	Länge	Breite	Typ
Hauptblitz			
3D-Peilung	11,1832	47,1962	CC
2D-Peilung	11,1889	47,1965	--
Folgeblitz			
3D-Peilung	11,1846	47,1974	CC
2D-Peilung	11,1909	47,1979	--

Die angegebenen Abweichungen gelten relativ zur erstgenannten Peilung; die innere Qualität des mit Daten von sechs Stationen erzielten Peilergebnisses gemäß der vorliegenden Erfindung verbessert sich beim Übergang von der zweidimensionalen Peilung zur dreidimensionalen Peilung ganz erheblich.

Wenn die Blitzortung ohne Berücksichtigung von Emissionshöhen erfolgt, ergibt sich eine von der Qualität her zwar akzeptable Ortung, jedoch ist der Peilfehler höher, als im Mittel zu erwarten wäre.

Eine Inspektion der an allen sechs Stationen des Netzes erfassten Blitzzeiten erweist, dass die Ankunftszeit an der betreffenden Station gegenüber der aus dem Gesamtnetz erwarteten Zeit und entgegen den entsprechenden Zeitfehlern der anderen fünf Stationen atypisch um knapp sieben Mikrosekunden verzögert ist.

Wird nun erfindungsgemäß der 3D-Effekt zugeschaltet und eine neue Peilung mit der Blitzhöhe als zusätzlichem, zu optimierendem Parameter ausgeführt, resultiert ein wesentlich stimmigeres Gesamtergebnis. Die neu eingeführte und optimierte Emissionshöhe ergibt sich zu 15,7 Kilometern mit einem statistischen Fehler von 3,5 Kilometern. Wird der völlig unabhängige Folgeblitz ebenso analysiert, erhält man einen nahezu identischen Blitzort mit einer Emissionshöhe von  $16,4 \pm 3,5$  Kilometern.

Die geschilderte Verfahrensweise wird auf sämtliche betrachteten Daten angewandt und liefert jeweils vergleichbare Ergebnisse. Um die 3D-  
Peilung möglichst zuverlässig zu gestalten, besteht die Möglichkeit, nur  
solche Fälle heranzuziehen, in denen Entladungen an mindestens vier  
Sensorstationen gemessen werden.

Erfindungsgemäß ist es aber auch möglich, mittels schwächerer, an nur  
drei Stationen erfasster Signale bei Hinzunahme der Einfallsrichtungen in  
die Optimierungsprozedur eine 3D-Peilung mit hinreichender Genauigkeit  
durchzuführen.

Tabelle 2 zeigt die Anzahl der im Umkreis um eine Meßstation, zum  
Beispiel um die Zentralstation 10, dreidimensional gepeilten Blitze (=  
detektierte Signale) und vergleicht diese mit der Gesamtanzahl im Netz  
gemäß der vorliegenden Erfindung (R bezeichnet den Umkreisradius, Ns  
die Anzahl der für zweidimensionale Peilungen jeweils benutzten  
Stationen; unter "H>0" sind die mit mindestens vier Meßstationen  
dreidimensional gepeilten Signale S mit großen Emissionshöhen H  
aufgelistet; betrachtet wird ein exemplarisches Überwachungsgebiet mit  
Längengraden zwischen 9,5 Grad und 13,3 Grad und mit Breitengraden  
zwischen 47 Grad und 49,8 Grad):

R (km)	Ns>=3	Ns>=4	H>0
20	365	173	36
30	1.459	718	202
40	5.254	2.788	540
50	9.088	4.851	679
60	13.508	7.098	711
Gesamtgebiet	60.327	36.909	2.114



Ein Befund lässt sich insofern erkennen, als sich von den im Netz gemäß der vorliegenden Erfindung registrierten Signalen nur ein markanter Anteil höher gelegenen Emissionsorten zuordnen lässt.

5 Erfindungsgemäß kann mit dem vorliegenden System 100 sowie mit dem diesem System 100 zugrunde liegenden Verfahren auch eine Abgrenzung oder Trennung von Wolkeblitzen (= Entladungen P innerhalb einer Wolke W und/oder zwischen mindestens zwei Wolken W) gegenüber Erdblitzten (= Entladungen P zwischen Wolke W und Erde E) vorgenommen werden.

10

So ist in Figur 8 die um den Zeitnullpunkt (= keine zeitliche Abweichung) symmetrische Kurve als Bodenblitz- oder Erdblitzkurve identifizierbar, das heißt die in Figur 8 symmetrische Kurve zeigt die 4.450 nicht höhenpeilbaren Bodenblitze ( $C[loud]G[round] * 0,26$ ).

15

Die in Figur 8 dargestellten weiteren vier Kurven stammen von den Wolkeblitzen, wobei die negativen Zeiten eine Zeitverzögerung bedeuten; diese sind für vier verschiedene Distanzbereiche zwischen Blitz und Sensorstation aufgetragen, nämlich

20

- für den Distanzbereich bis zwanzig Kilometer  
(= Wolkeblitzkurve mit dem niedrigsten Peak in Figur 8),
- für den Distanzbereich zwischen zwanzig und vierzig Kilometern  
(= Wolkeblitzkurve mit dem drittniedrigsten Peak in Figur 8),
- für den Distanzbereich zwischen vierzig und sechzig Kilometern  
(= Wolkeblitzkurve mit dem viertniedrigsten Peak in Figur 8) und
- für den Distanzbereich über sechzig Kilometer  
(= Wolkeblitzkurve mit dem zweitniedrigsten Peak in Figur 8).

25

30

Insgesamt ist in Figur 8 eine Verteilung von 2.247 ermittelten Zeitabweichungen der jeweils blitznächsten Station bei insgesamt 6.697 gepeilten Blitzen dargestellt.

Alles in allem bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein System sowie auf ein Verfahren zur Blitzerkennung, die nicht nur eine erhöhte Effizienz aufweist, sondern auch die erfindungswesentliche Möglichkeit bietet, eine dreidimensionale Unterscheidung von Entladungen innerhalb einer Wolke und Wolke-Boden-Entladungen vorzunehmen:

Während der letzten zwanzig Jahre wurden Systeme zur Blitzlokalisierung für kommerzielle Zwecke hauptsächlich in den USA, aber auch in Frankreich und in Japan entwickelt; diese Entwicklung kulminierte im Aufbau des nordamerikanischen Blitz-Nachweis-Netzwerks (N[orth]A[merican]L[ightning]D[etection]N[etwork]) im Jahr 1989. Seitdem wurden verschiedene Aufwertungen ausgeführt, und die Technik wurde in viele Länder eingeführt.

Gemäß dem üblicherweise herangezogenen, eingangs diskutierten Stand der Technik

- werden Effizienzen im Hinblick auf Blitz-Nachweise berichtet, die etwa neunzig Prozent betragen,
- sind die erreichten Lokalisierungsgenauigkeiten besser als ein Kilometer und
- wird die IC-CG-Unterscheidung durch Wellenform-Kriterien als nahezu perfekt bezeichnet.

Bodenblitzdichten werden aus Betriebsergebnissen berechnet und sollen wichtige Daten für Blitzschutz-Technologien darstellen.

Für modernere Netzwerke wurde konventionellerweise die Möglichkeit einer präzisen Blitzlokalisierung vor allem mittels Messungen überprüft, die Blitze in Radiotürme beinhalten, dennoch bleibt die Nachweiseffizienz und das Verfahren zur Unterscheidung von IC-Entladung versus CG-Entladung eine durchaus fragwürdige Angelegenheit; so wurden anfänglich Netzwerke entwickelt, die nur auf dem Boden potentiell schadensverursachende CG-Entladungen anzeigen

sollten, während IC-Entladungen durch nicht detailliert veröffentlichte Methoden unterdrückt wurden.

5        Zwar kann angeblich die Anstiegszeit und die Peak-Nulldurchgangszeit der nachgewiesenen VLF-Pulse genutzt werden; wiederholt wurden die relevanten Unterscheidungsparameter in der Vergangenheit jedoch Veränderungen unterzogen. In den letzten Jahren wurde schließlich realisiert, dass IC-Entladungen zumindest meteorologisch relevant sind, und somit zeigen moderne Netzwerke auch die nachgewiesenen IC-Blitz-Ereignisse an.

10       Dementsprechend eröffnet sich erfindungsgemäß eine dreidimensionale Option für die Bestimmung von Emissionshöhen sowie für eine Online-Unterscheidung von C[loud]G[round]- bzw. G[round]C[loud]-Entladungen in Abgrenzung bzw. im Vergleich zu I[ntra]C[loud]- bzw. C[loud]C[loud]-Entladungen:

15       Das neue, in Dauerbetrieb überführbare und zum Beispiel in Süd-Ost-Deutschland ein Gebiet von annähernd 300 Kilometern auf 400 Kilometern bedeckende Blitzortungsnetzwerk gemäß der vorliegenden Erfindung ermöglicht es, die aufgenommene Blitzaktivität insbesondere in Bezug auf das Auftreten schwerer Gewitter zu analysieren und einen Vergleich mit Daten etablierter Blitzortungsnetzwerke zu ziehen.

20       Die bemerkenswertesten Ergebnisse können wie folgt gefasst werden:

- 25       - Verglichen mit konventionellen Netzwerken gemäß dem Stand der Technik zeigt das Netzwerk gemäß der vorliegenden Erfindung bis zu einer Größenordnung mehr Entladungen an; die meisten zusätzlichen Signale weisen eine niedrigere Amplitude auf.

- Für die Unterscheidung von Entladungen innerhalb einer Wolke (I[ntra]C[loud]) gegenüber Wolke-Boden-Entladungen (C[loud]G[round]) wird eine neue dreidimensionale Technik angewendet; dies bedeutet unter anderem, dass die konventionelle, mittels Wellenform-Kriterien bewerkstelligte Unterscheidung von IC- und CG-Entladungen in Kenntnis der vorliegenden Erfindung zu modifizieren ist, nicht zuletzt weil die meisten lokalisierten Ereignisse Bodenblitze waren.

- Verglichen mit dem Stand der Technik sind auch die Bodenblitzdichten einer Revision in Richtung höherer Anzahlen zu unterziehen.

Das Netzwerk gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst zum Beispiel sechs Sensorstationen und ist so ausgelegt, dass es soviel aus aufkommenden Gewittern entstehende V[ery]L[ow]F[requency]-Aktivität wie möglich misst; hocheffiziente und moderne Datenverarbeitung ist in der vorliegenden Erfindung implementiert, um den meteorologisch relevanten Output zu maximieren und um mögliche Chancen für bessere Daten und Informationen in Bezug auf Frühwarnzwecke zu ermitteln.

Als Ergebnis können mittels der vorliegenden Erfindung Blitzentladungen in viel größeren Mengen als erwartet gesammelt werden. Ein Vergleich mit den Daten konventioneller Netzwerke zeigt einen Überschuss von Faktor drei bis zehn, so dass eine viel bessere Erkennung von Gewitterzellen und Gewitterkonturen möglich wird. Diese Ergebnisse führen zur Frage, woher die zusätzlichen Treffer kommen, und geben zu einer detaillierteren Untersuchung der Verfahren für IC-CG-Unterscheidungen Veranlassung.

Da die aus dem Stand der Technik bekannte Methode der Analyse von Wellenformkriterien hochkomplex ist, wird erfindungsgemäß das unmittelbarere Verfahren der 3D-Lokalisierung angewendet, die weder irgendwelche Annahmen noch irgendwelche anzupassenden Parameter benötigt.

Auf für den Fachmann überraschende Weise erweist sich diese erfindungsgemäße Technik, die bislang in keinem anderen Netzwerk angewendet wurde, als sehr erfolgreich und erlaubt die Identifizierung von IC-Blitzen in annähernd 85 Prozent aller Fälle. Das Prinzip dieser Methode ist im Folgenden dargestellt:

Wenn ein sich ausreichend nahe an einer Entladung befindlicher Sensor ein IC-Ereignis erfasst (im Gegensatz zu einer horizontalen Ausbreitung im Falle eines CG-Gewitterschlags), erhält dieser Sensor das VLF-Signal mit einer Zeitverzögerung  $dT = T_P - T_H$  (vgl. Figur 5). Eine Emissionshöhe von zehn Kilometern verursacht beispielsweise bei einer Sensordistanz von fünfzig Kilometern eine Verzögerung von etwa drei Mikrosekunden.

Da die Genauigkeit von GPS-basierten Messungen der Ankunftszeiten gewöhnlich in der Größenordnung von einer Mikrosekunde oder besser liegt, ist eine 3D-Unterscheidung von IC-Blitzen möglich, solange der durchschnittliche Abstand der Netzwerksensoren vom Entladungsereignis nicht zu groß ist.

Die Anwendbarkeit der 3D-Methode auf ein vorgegebenes Netzwerk kann mittels einer Untersuchung der Verteilung der Zeitverzögerung  $P(dT)$  bestimmt werden, die vom jeweiligen Sensor erhalten wird, der zum lokalisierten Blitz am nächsten gelegen ist. In diesem Zusammenhang schließt die Lokalisierung ein, dass die Entladung bei einer ausreichenden Anzahl von Sensorstationen nachgewiesen werden muss.

In Abwesenheit von IC-Entladungen ist  $P(dT)$  eine hochsymmetrische Verteilung, während die Existenz von nachweisbaren IC-Entladungen eine Verschiebung der  $P(dT)$ -Verteilung zu negativen Zeiten (entsprechend einer zeitlichen Verzögerung) bewirkt (vgl. Figur 8).

Angesichts der letzteren Gegebenheiten kann die Emissionshöhe  $H$  als zusätzlicher Parameter in den Lokalisierungsalgorithmus eingeführt werden. Die experimentellen Verteilungen  $p(dT)$  gemäß der vorliegenden Erfindung sind tatsächlich asymmetrisch und ergeben typische Ergebnisse. Die hergeleiteten Emissionshöhen von einigen Kilometern erscheinen angemessen, können nicht von CG-Entladungen resultieren und stellen demzufolge wohl IC-Entladungen dar.

In erfindungswesentlicher Weiterbildung werden Netzwerksimulationen genutzt, um die Ergebnisse gemäß der vorliegenden Erfindung zu belastbarer zu machen:

So werden berechnete Ankunftszeiten statistisch deformiert, bis die Genauigkeit der gesamten Lokalisierung für das Netzwerk zu tatsächlichen Ergebnissen passt und somit zwischen einem halben Kilometer im Zentrum und einem Kilometer in der Nähe der Netzwerkgrenze liegt.

Wenn keine IC-Entladungen angenommen werden, ergeben die künstlichen Zeitverschiebungen in etwa fünfzehn Prozent "falsche" IC-Identifizierungen, während unter der Annahme von einhundert Prozent IC-Entladungen mit der angenommenen Höhenverteilung 85 Prozent erfasst werden.

Eine Untersuchung der tatsächlichen Datenbeispielfälle gemäß der vorliegenden Erfindung macht deutlich, dass weniger als dreißig Prozent der Ereignisse IC-Entladungen zugeordnet werden können. Als Konsequenz muss dargelegt werden, dass der größte Teil der zusätzlich erfassten Ereignisse CG-Entladungen sind.

Verschiedene Folgerungen der Ergebnisse gemäß der vorliegenden Erfindung bedürfen einer weiteren Beachtung:

- Eine neue Technik für IC-CG-Unterscheidungen, die im Prinzip jedes moderne Lokalisierungsnetzwerk bewerkstelligen kann und die neuen Input in Bezug auf die Wolkenphysikforschung gibt, wird zur Verfügung gestellt.

5

- Die Ergebnisse gemäß der vorliegenden Erfindung können genutzt werden, um die vorstehend erwähnten, an sich bekannten Wellenform-Kriterien zu überprüfen und zu verbessern; es steht zu erwarten, dass eine Kombination der beiden Verfahren eine sehr zuverlässige IC-CG-Unterscheidung ergibt.

10

- Das Auftreten einer großen Anzahl zusätzlicher Ereignisse erfordert eine Aktualisierung der Nachweiseffizienzen von Netzwerken.

15

- Der erfindungsgemäß erhaltbare Anstieg von CG-Entladungen erfordert eine Aktualisierung der Karten von Bodenblitzdichten.

Schließlich können mit den Ergebnissen der vorliegenden Erfindung die Wellenform-Kriterien auf eine viel größere Datengrundlage als zuvor hin überprüft werden; auch ist erfindungsgemäß eine Optimierung der Nachweiseffizienz, ein Vergleich mit VHF-Daten anderer hochspezialisierter 3D-Forschungssysteme und eine Untersuchung der Prozesse in Bezug auf IC-Entladungen gewährleistet.

20

25

Bezugszeichenliste

	100	System
5	10	Zentralstation oder Zentrale
	16, 18	Schnittstelle der Zentralstation 10, insbesondere
	16	Meteosat-Empfänger
	18	Mailbox eines Wetterdienstes
	20	einer Entladung P räumlich nächstgelegene Meßstation oder
10		Sensor(station)
	20'	einer Entladung P räumlich nicht nächstgelegene Meßstation oder
		Sensor(station)
	22	Datenverarbeitungsanlage, insbesondere P[ersonal]C[omputer]
	30	Antenne, insbesondere breitbandiger Antennenkörper
15	38	Zeitmeßeinrichtung,
		insbesondere G[lobal]P[ositioning]S[ystem]-Uhr
	40	Stationselektronik der Zentralstation 10 sowie der Meßstation 20,
		20', insbesondere erstes Sferics-Online-Aufzeichnungssystem der
		Zentralstation 10
20	40'	zweite Stationselektronik der Zentralstation 10,
		insbesondere zweites Sferics-Online-Aufzeichnungssystem der
		Zentralstation 10
	42	Verstärkereinheit der Stationselektronik 40
	42'	Verstärkereinheit der Zentralstation 10
25	44	Filtereinheit der Stationselektronik 40
	44'	Filterereinheit der Zentralstation 10
	46	A[nalog]/D[igital]-Wandlereinheit der Stationselektronik 40
	50	Speichereinheit der Meßstation 20, 20'
	60	Verbindung zwischen Zentralstation 10 und Meßstation 20, 20'
30	70	Servereinheit der Zentralstation 10,
		insbesondere zentraler Datenserver und/oder Zeitserver



- 72 der Servereinheit 70 zugeordnete Anzeigeeinheit, zum Beispiel Bildschirm oder Monitor, insbesondere zur Darstellung der aktuellen Sferics-Lage
- 74 F[ourier]T[ransformation] des Signals S mit Online-Darstellung
- 5 76 Kommunikationszentrum der Zentralstation 10
- 76m Modem des Kommunikationszentrums 76
- 76w Wählleitung des Kommunikationszentrums 76
- 78 Online-Darstellung von Satellitenbildern, von Bodenwetterkarten, von Radarwetterkarten und von dergleichen mittels mindestens einer Anzeigeeinheit, insbesondere mittels mindestens eines Bildschirms oder Monitors
- 10 80 Arbeitsplatz zur Analyse der Daten und Informationen D
- A Amplitude des Signals S
- C Direktionalität, insbesondere räumlicher Richtungsverlauf, der Entladung P
- 15 d Abstand der Meßstationen 20, 20' zueinander
- dT Laufzeitverzögerung, wobei  $dT = T_P - T_H$
- D Daten und Informationen
- E Erde, insbesondere Erdboden
- 20 H Höhe, insbesondere Emissionshöhe, der Entladung P
- P atmosphärische Entladung, insbesondere Blitz
- Q weitere klimatologische und/oder meteorologische Daten- und Informationsquelle
- R Entfernung der Entladung P von der Meßstation 20, 20'
- 25 S Signal
- S' mittels der Verstärkereinheit 42 verstärktes Signal
- S'' mittels der Filtereinheit 44 gefiltertes Signal
- $T_H$  um Effekt der Höhe H bereinigte Entladungszeit
- $T_P$  Entladungszeit
- 30 W Wolke

## Ansprüche

1. System (100) zum Erfassen, Übermitteln und Auswerten von durch atmosphärische elektromagnetische Strahlung natürlichen Ursprungs anfallenden Daten und Informationen (D), aufweisend
- mehrere räumlich getrennte Meßstationen (20, 20') mit jeweils
  - mindestens einem insbesondere breitbandigen Antennenkörper (30) zum Erfassen von aus atmosphärischen Entladungen (P) stammenden, insbesondere niedrigfrequenten elektromagnetischen Feldern zuordbaren Signalen (S) sowie
  - mindestens einer Zeitmeßeinrichtung (38), insbesondere mindestens einer G[lobal]P[ositioning]S[ystem]-Uhr, zum Ermitteln des jeweiligen zeitlichen Verlaufs, insbesondere der jeweiligen Ankunftszeit, der erfassten Signale (S),  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass
  - die Höhe (H), insbesondere die Emissionshöhe, und/oder
  - die Direktionalität (C), insbesondere der räumliche Richtungsverlauf,
- der Entladung (P) lokalisierbar ist, indem die Abweichung der Ankunftszeit des Signals (S) an der der Entladung (P) nächstgelegenen Meßstation (20) von der Ankunftszeit desselben Signals (S) an mindestens einer, vorzugsweise mindestens zwei, der Entladung (P) nicht nächstgelegenen Meßstationen (20') bestimmbar ist.
2. System gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Direktionalität (D) der Entladung (P)
- als im Wesentlichen vertikal identifizierbar ist, wenn sich die Amplitude (A) des Signals (S) reziprok proportional zur Entfernung

(R) der Entladung (P) von der jeweiligen Meßstation (20, 20') verhält, und

- als im Wesentlichen horizontal identifizierbar ist, wenn die Amplitude (A) des Signals (S) von der reziproken Proportionalität abweicht, wobei diese Abweichung durch Berücksichtigung
  - des Höhenwinkels und
  - des Winkels zwischen Entladungssachse und Richtung zur jeweiligen Meßstation (20, 20') korrigierbar ist.

10



3. System gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,
  - dass mehrere, aus Entladungen (P) eines räumlich und/oder zeitlich begrenzten Bereichs stammende Signale (S) zu Gruppen zusammenfassbar sind und
  - dass die Abweichung der Amplitude (A) eines einzelnen Signals (S) zur insbesondere mittleren Abweichung der Amplitude (A) der dem Signal (S) zugeordneten Gruppe in Beziehung setzbar ist, insbesondere um einen durch variable Bodenleitfähigkeit bedingten Dämpfungseffekt zu eliminieren.

15

20



4. System gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei Entladungen (P) emittierte Ladung aus Höhen (H) im Kilometerbereich mittels Vergleichen der an mindestens einer der Entladung (P) nächstgelegenen Meßstation (20) und an mindestens zwei der Entladung (P) nicht nächstgelegenen Meßstationen (20') gemessenen Verteilungen von Zeitabweichungen (dT) mindestens zweier Entladungszeiten ( $T_P$ ) nachweisbar ist.

25

30

5. System gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe (H) der Entladung (P) und/oder die Direktionalität (D) der Entladung (P) mittels der der Entladung (P)

nächstgelegenen Meßstation (20) sowie mittels einer einzigen, der Entladung (P) nicht nächstgelegenen Meßstation (20') bestimmbar ist, wenn die Einfallsrichtung der Entladung (P) ermittelbar ist.

- 5            6.    System gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Meßstationen (20, 20') jeweils mindestens eine separat vom Antennenkörper (30) angeordnete Stationselektronik (40) zum Verarbeiten der mittels des jeweiligen Antennenkörpers (30) erfassten Signale (S) zu den Daten und Informationen (D) aufweisen, wobei die Stationselektronik (40)
- 10            -    mindestens eine Verstärkereinheit (42) zum rauscharmen Verstärken der mittels des jeweiligen Antennenkörpers (30) erfassten Signale (S);
- 15            -    mindestens eine Filtereinheit (44) zum Filtern der mittels der Verstärkereinheit (42) verstärkten Signale (S'), insbesondere im Hinblick auf zum Beispiel von Radiosendern stammende technische Störsignale;
- 20            -    mindestens eine A[nalog]/D[igital]-Wandlereinheit (46) zum Wandeln der mittels der Filtereinheit (44) gefilterten Signale (S'') zu den digitalen Daten und Informationen (D); sowie
- mindestens eine selbstregulierende Schwelle zum Optimieren der Sensitivität der Stationselektronik (40) aufweist.
- 25            7.    System gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,
- dass der Antennenkörper (30) in mechanisch selbsttragender Form ohne bewegliche und/oder witterungssensitive Komponenten zum Aufstellen im Freien ausgelegt ist,
- 30            -    dass der Primärkreis des Antennenkörpers (30) vom Sekundärkreis des Antennenkörpers (30) galvanisch getrennt ist und

- dass die elektromagnetischen Felder breitbandig und rauscharm auskoppelbar und damit zeitgetreu messbar sind.

8. System gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Meßstationen (20, 20')

- in einem Abstand (d) von etwa einhundert Kilometern zueinander angeordnet sind und
- jeweils in bidirektionaler, insbesondere drahtgebundener und/oder drahtloser Verbindung (60) mit einer Zentralstation (10) stehen, an die zumindest ein Teil, insbesondere mindestens ein ausgewählter Parameter, der von der jeweiligen Meßstation (20, 20') erfassten, verarbeiteten und gespeicherten Daten und Informationen (D) übermittelbar ist.

9. System gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch mindestens eine insbesondere einer Zentralstation (10) zugeordnete Schnittstelle (16, 18) zum Einbinden mindestens einer weiteren klimatologischen und/oder meteorologischen Daten- und Informationsquelle (Q) zur Charakterisierung der insbesondere mittels M[odel]O[utput]S[tatistics] bewertbaren Gesamtwettersituation.

10. Verfahren zum Erfassen, Übermitteln und Auswerten von durch atmosphärische elektromagnetische Strahlung natürlichen Ursprungs anfallenden Daten und Informationen (D), bei welchem Verfahren

- [i] aus atmosphärischen Entladungen (P) stammende, insbesondere niedrigfrequenten elektromagnetischen Feldern zuordbare Signale (S) mittels mehrerer räumlich getrennter Meßstationen (20, 20'), insbesondere mittels mindestens eines beispielsweise breitbandigen, der jeweiligen Meßstation (20, 20') zugeordneten Antennenkörpers (30), erfasst werden und

[ii] der jeweilige zeitliche Verlauf, insbesondere die jeweilige Ankunftszeit, der erfassten Signale (S) mittels mindestens einer der jeweiligen Meßstation (20, 20') zugeordneten Zeitmesseinrichtung (38), insbesondere mittels mindestens einer GPS-Uhr, ermittelt wird,

**dadurch gekennzeichnet,**

[iii] dass

- die Höhe (H), insbesondere die Emissionshöhe, und/oder
- die Direktionalität (D), insbesondere der räumliche Richtungsverlauf,

der Entladung (P) lokalisiert wird, indem die Abweichung der Ankunftszeit des Signals (S) an der der Entladung nächstgelegenen Meßstation (20) von der Ankunftszeit desselben Signals (S) an mindestens einer, vorzugsweise mindestens zwei, der Entladung nicht nächstgelegenen Meßstationen (20') bestimmt wird.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Direktionalität (D) der Entladung (P)

- als im Wesentlichen vertikal identifiziert wird, wenn sich die Amplitude (A) des Signals (S) reziprok proportional zur Entfernung (R) der Entladung (P) von der jeweiligen Meßstation (20, 20') verhält, und
- als im Wesentlichen horizontal identifiziert wird, wenn die Amplitude (A) des Signals (S) von der reziproken Proportionalität abweicht, wobei diese Abweichung durch Berücksichtigung
  - des Höhenwinkels und
  - des Winkels zwischen Entladungssachse und Richtung zur jeweiligen Meßstation (20, 20')korrigiert werden kann.

12. Verfahren gemäß Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass Entladungen (P) innerhalb einer Wolke (W) und/oder

zwischen mindestens zwei Wolken (W) von Entladungen (P)  
zwischen Wolke (W) und Erde (E) unterschieden werden können.

5 13. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 10 bis 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass mittels mindestens einer  
Stationselektronik (40)

- die typischerweise in einzelnen Wellenzügen auftretende  
elektromagnetische Strahlung in Bezug auf ihre spektralen  
Eigenschaften mittels F[ast]F[ourier]T[ransformation] analysiert  
wird,

- der jeweilige zeitliche Verlauf der Signale (S) bei variablen  
Pulsformen vollständig erfasst wird,

- auch bei hohen Signallraten sämtliche Signale (S) totzeitfrei erfasst  
werden und/oder

15 - insbesondere auf Basis mindestens eines Algorithmus  
signalspezifische Parameter zum Klassifizieren sowie Zuordnen der  
Signale (S) zu bestimmten atmosphärischen Vorgängen ermittelt  
werden.

20 14. Verwendung mindestens eines Systems (100) gemäß mindestens  
einem der Ansprüche 1 bis 9 und/oder eines Verfahrens gemäß  
mindestens einem der Ansprüche 10 bis 13

- zur Lokalisierung

-- der Höhe (H), insbesondere der Emissionshöhe, und/oder

25 -- der Direktionalität (D), insbesondere des räumlichen  
Richtungsverlaufs,

der Entladung (P) und/oder

- zur Abgrenzung von Entladungen (P) innerhalb einer Wolke (W)  
und/oder zwischen mindestens zwei Wolken (W) gegenüber  
30 Entladungen (P) zwischen Wolke (W) und Erde (E) und/oder

- zur Erstellung von Blitzdichtekarten.

## Zusammenfassung

Um ein System (100) sowie ein Verfahren zum Erfassen, Übermitteln und Auswerten von durch atmosphärische elektromagnetische Strahlung natürlichen Ursprungs anfallenden Daten und Informationen (D) so weiterzuentwickeln, dass eine genaue und zuverlässige Unterscheidung zwischen Wolke-Boden-Blitzen (C[loud]G[round]) und Wolke-Wolke-Blitzen (= I[ntra]C[loud] innerhalb einer Wolke oder C[loud-]C[loud] zwischen Wolken) gewährleistet ist, wird vorgeschlagen, dass

- die Höhe (H), insbesondere die Emissionshöhe, und/oder
- die Direktionalität (C), insbesondere der räumliche Richtungsverlauf, der Entladung (P) lokalisierbar ist, indem die Abweichung der Ankunftszeit des Signals (S) an der der Entladung (P) nächstgelegenen Meßstation (20) von der Ankunftszeit desselben Signals (S) an mindestens einer, vorzugsweise mindestens zwei, der Entladung (P) nicht nächstgelegenen Meßstationen (20') bestimmbar ist.

Fig. 1



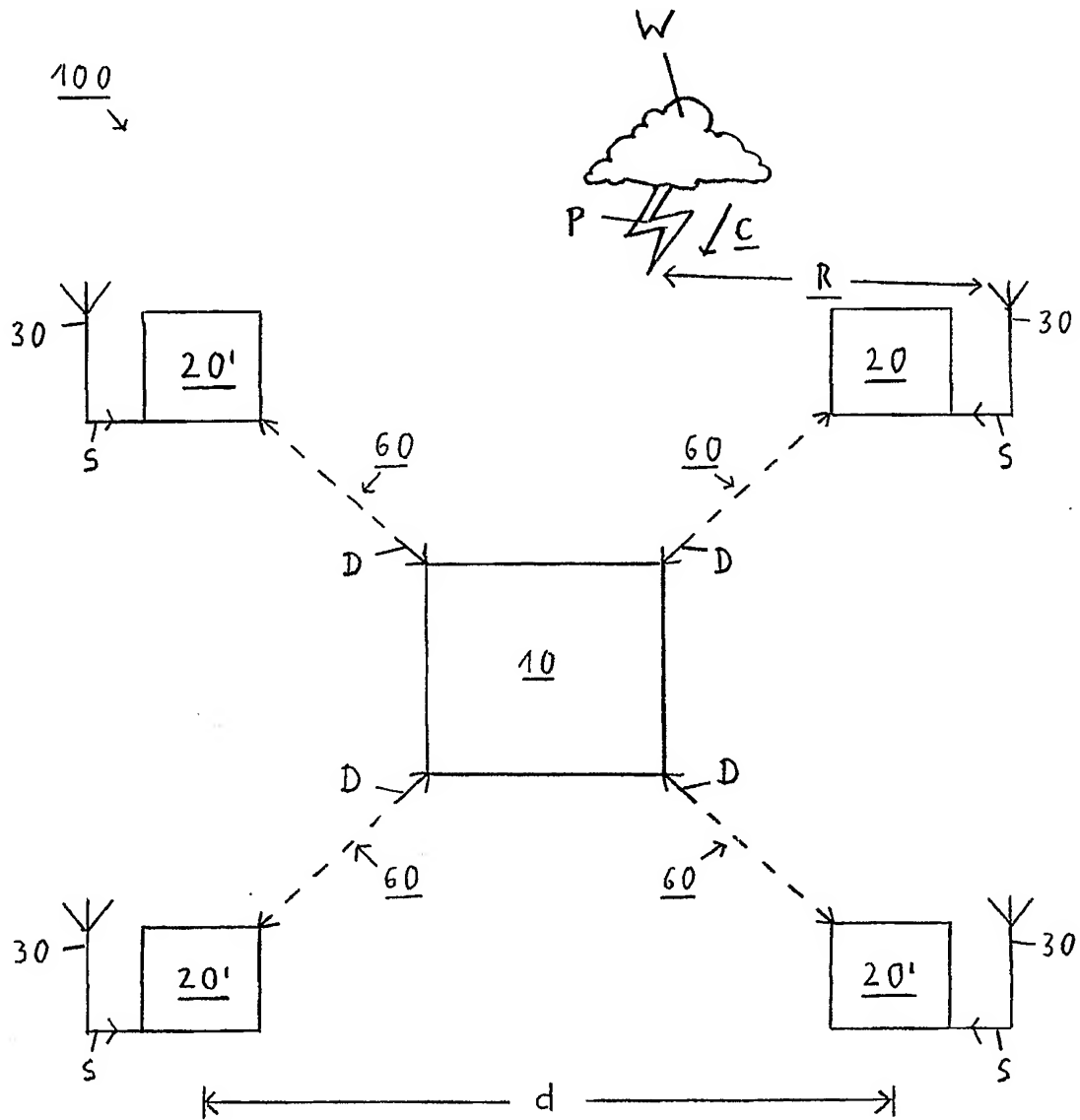


Fig. 1

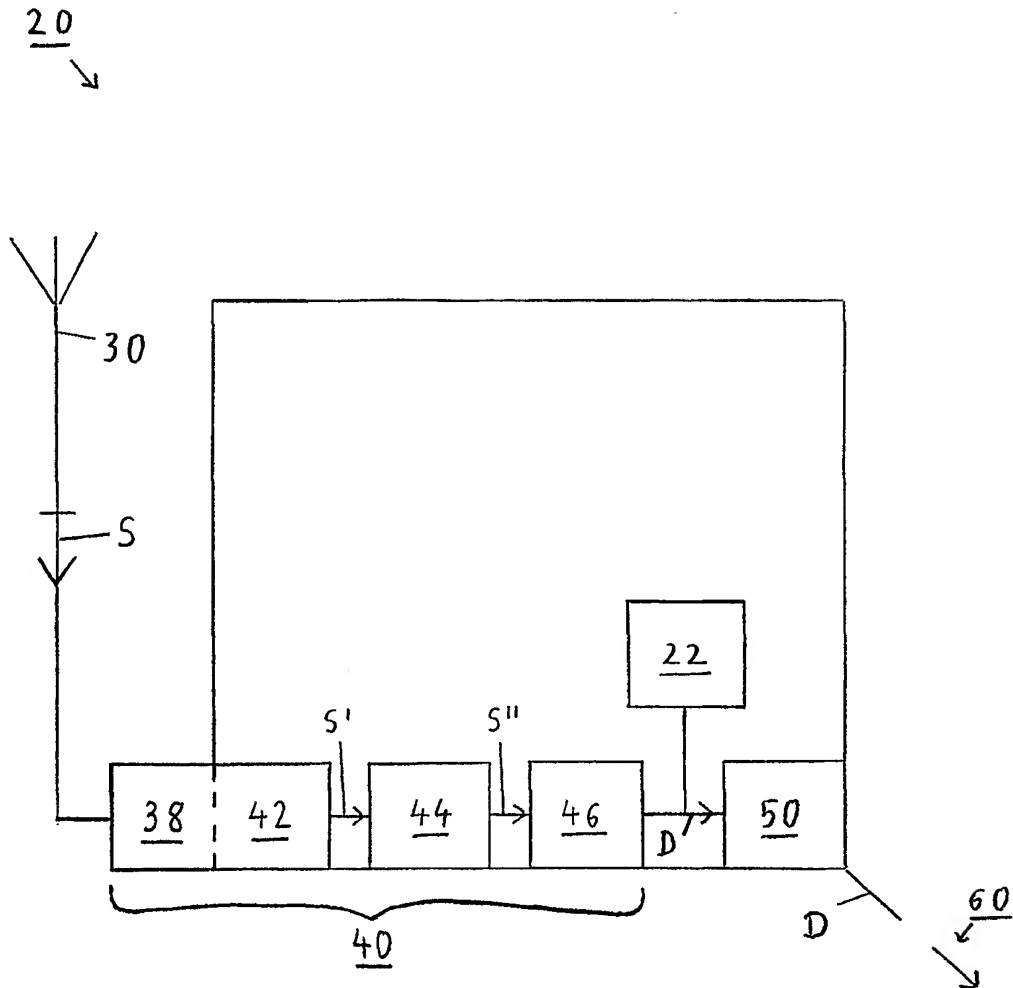


Fig. 2A

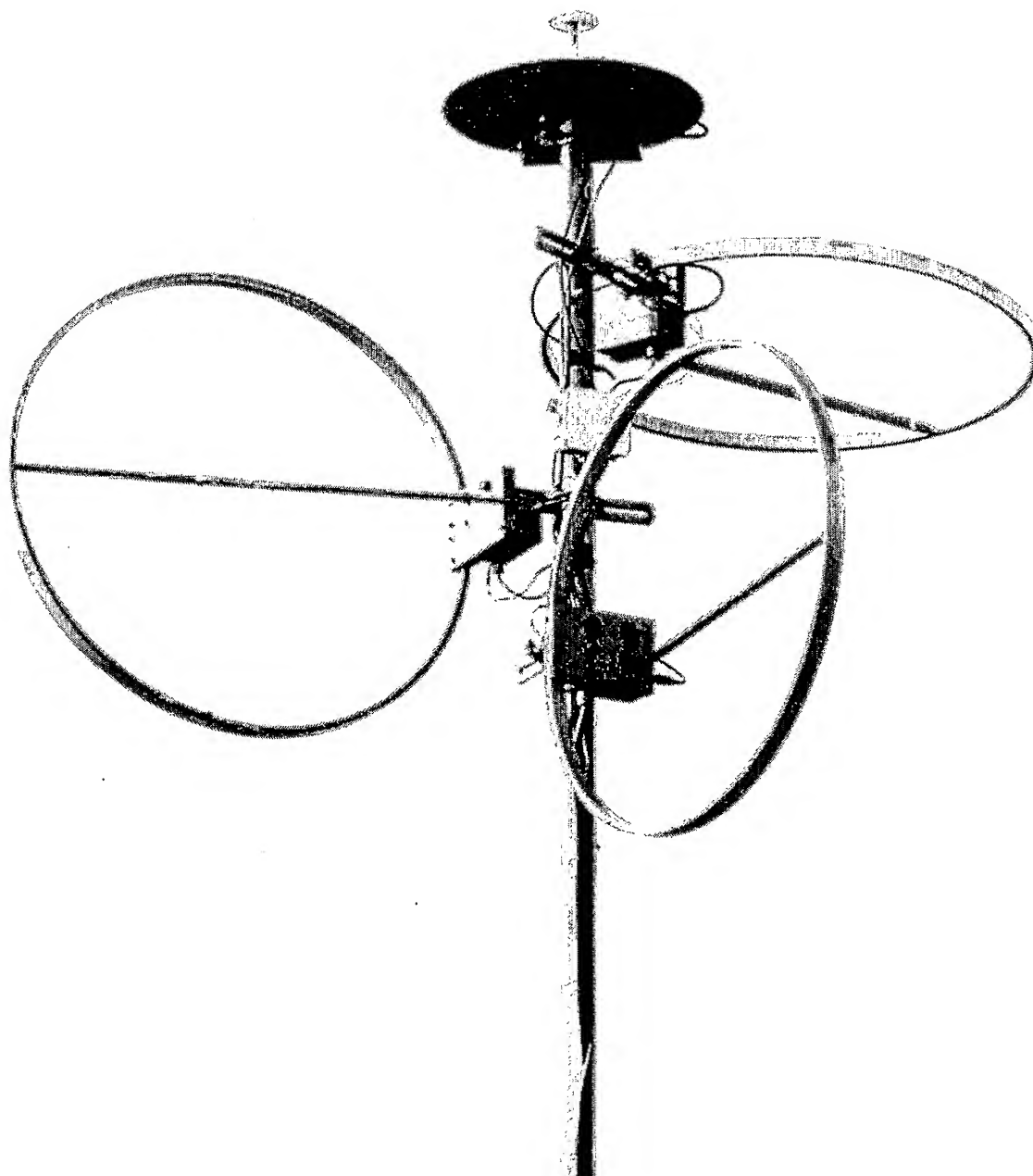


Fig. 2B

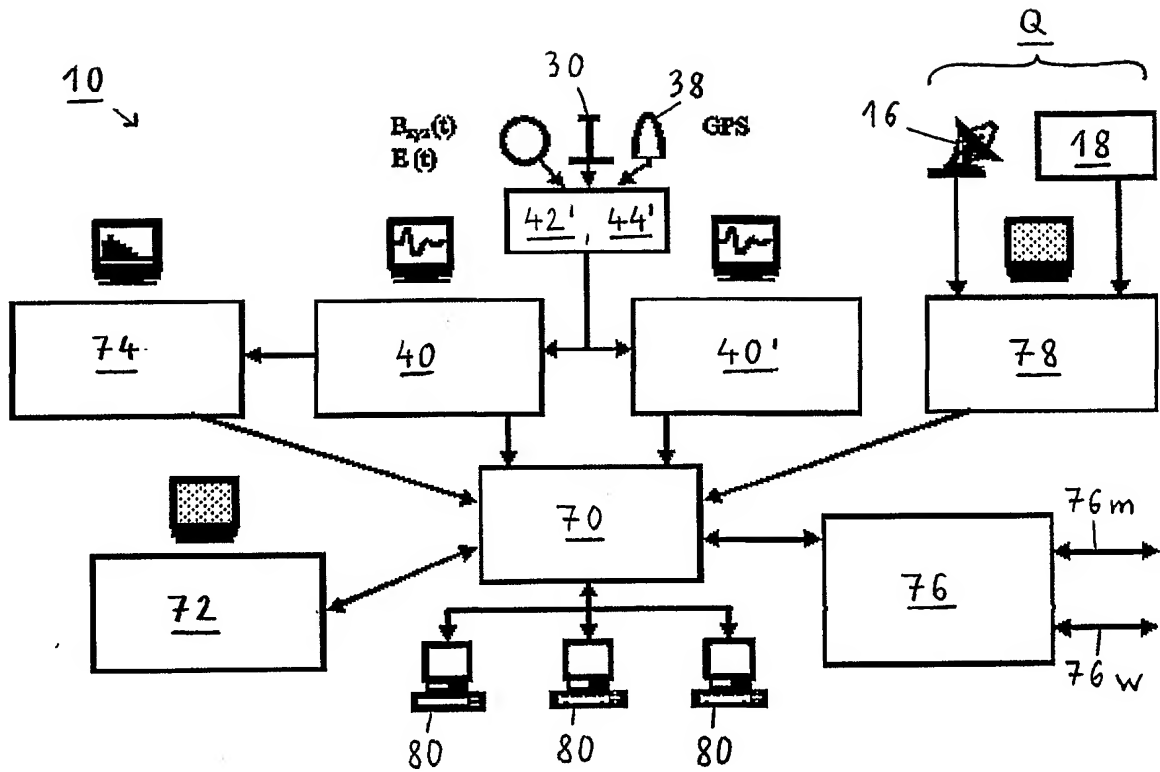


Fig. 3

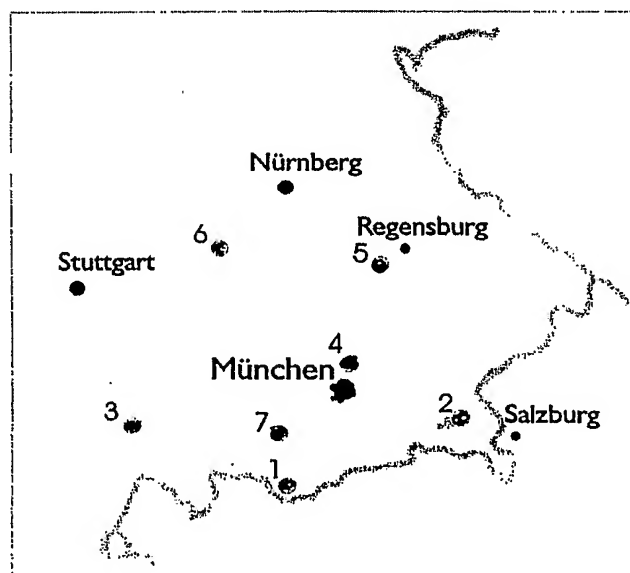


Fig. 4

5 / 10

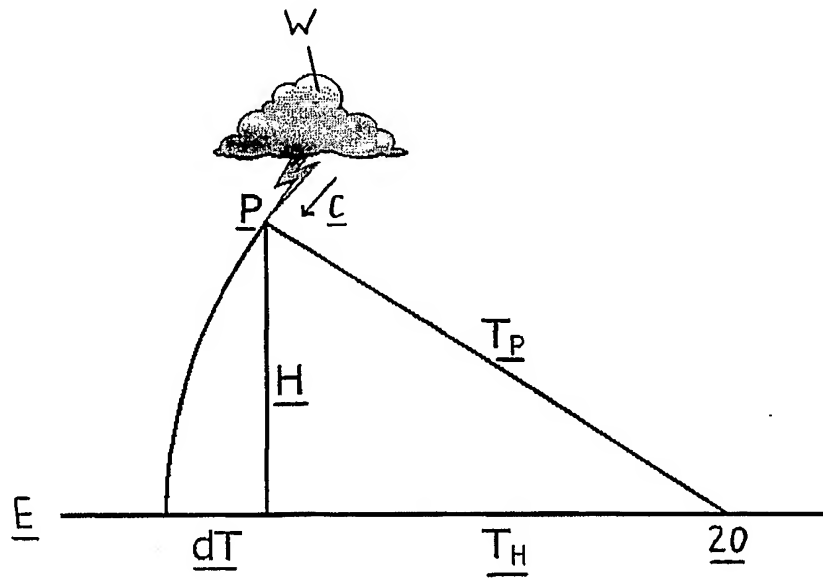


Fig. 5

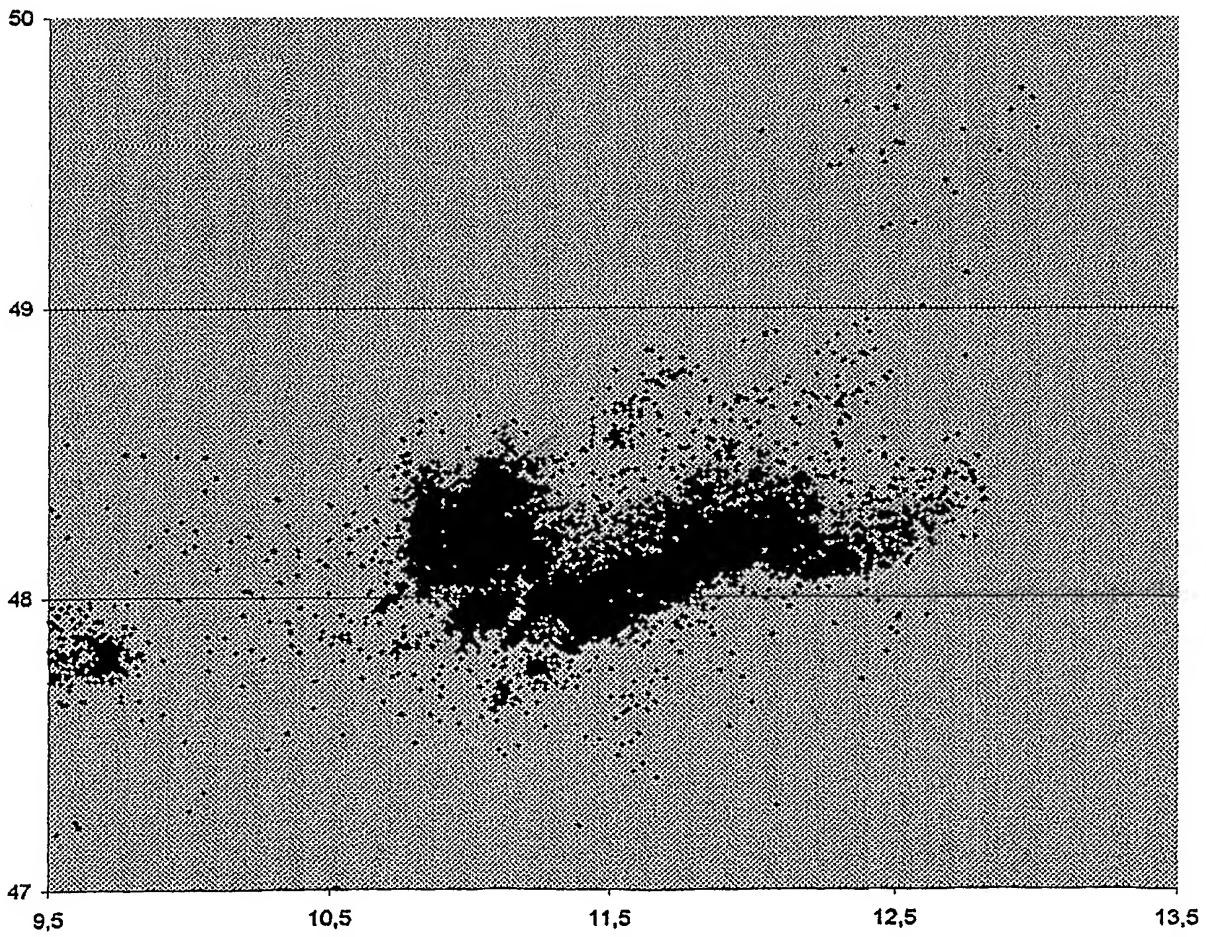


Fig. 6

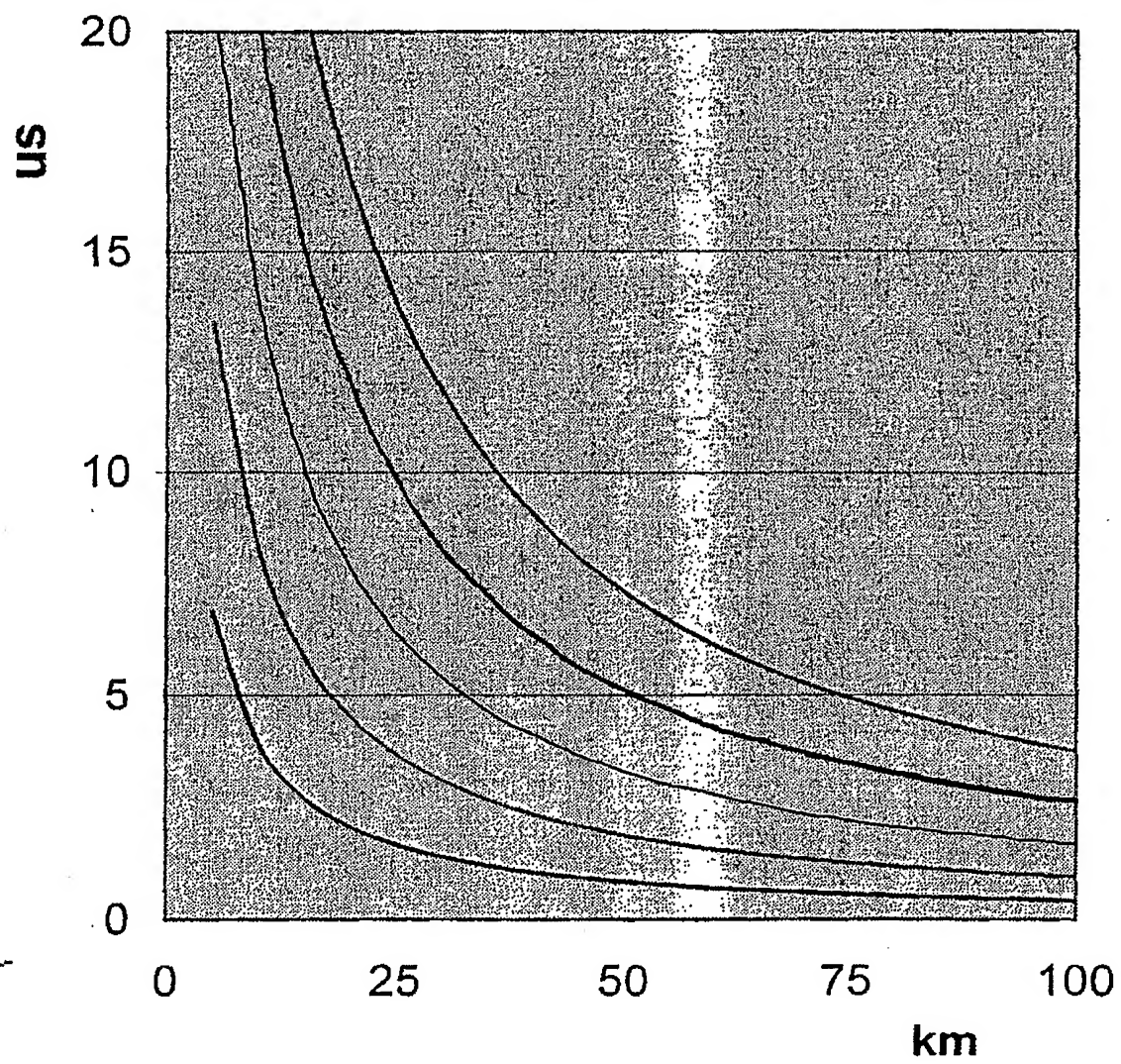


Fig. 7A

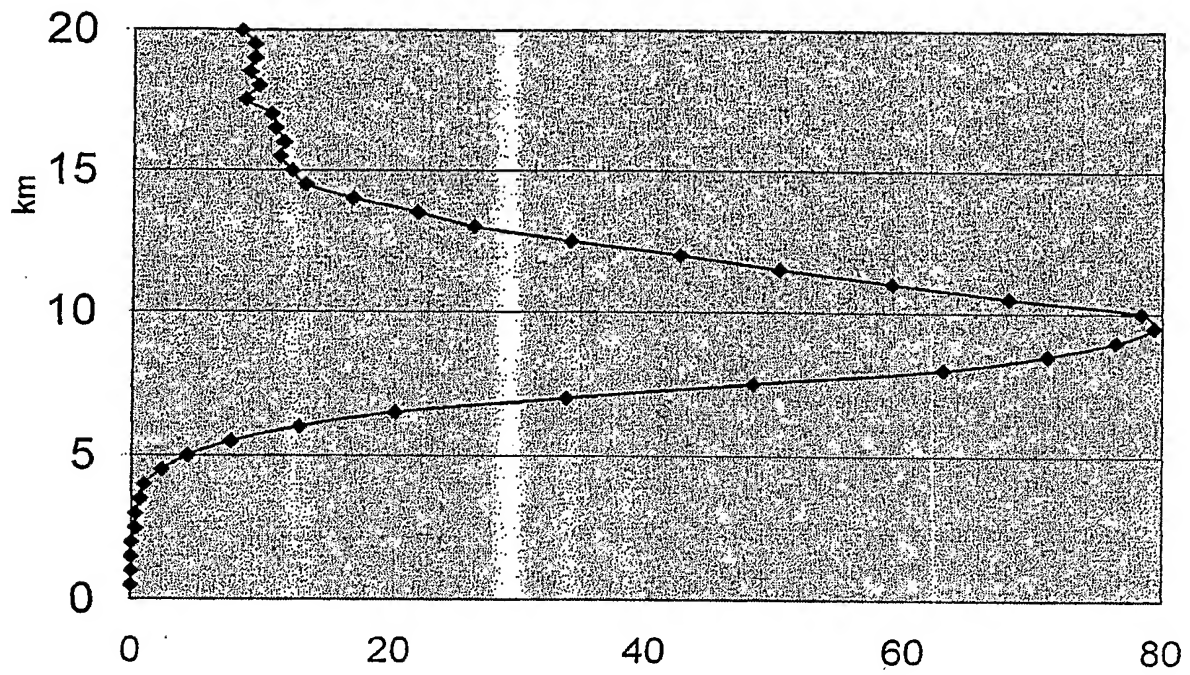


Fig. 7B

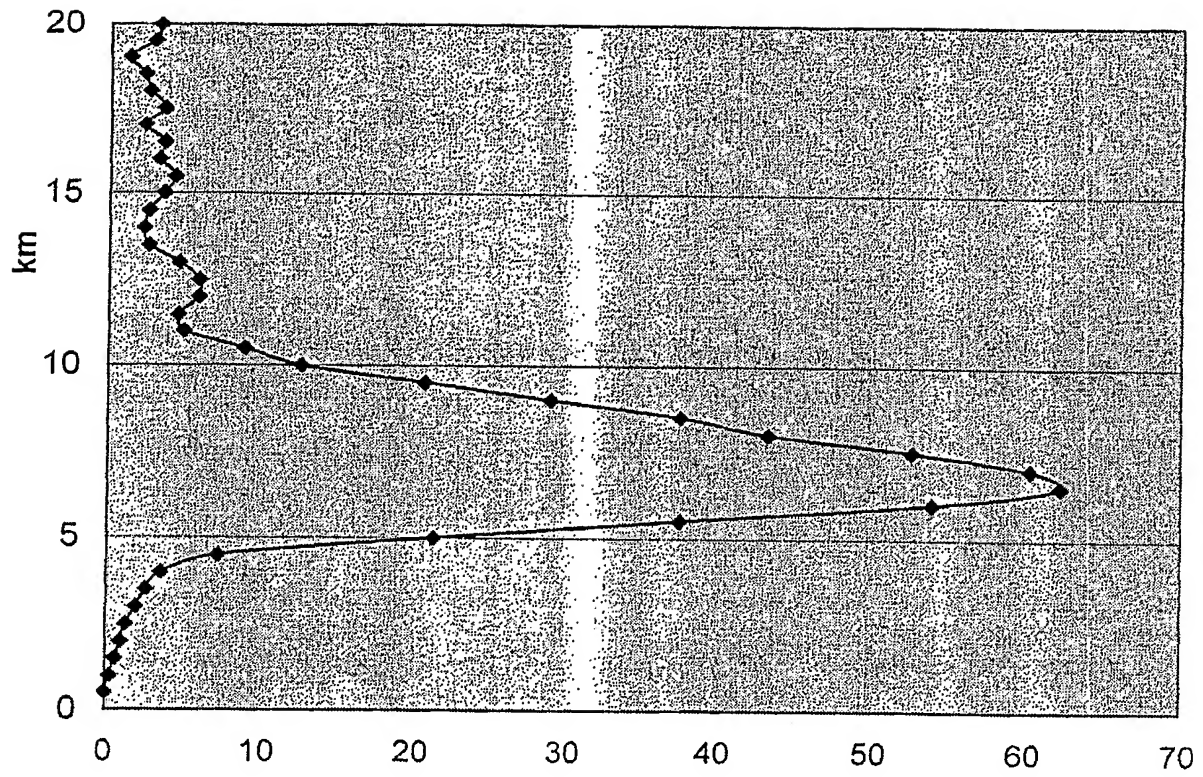


Fig. 7C



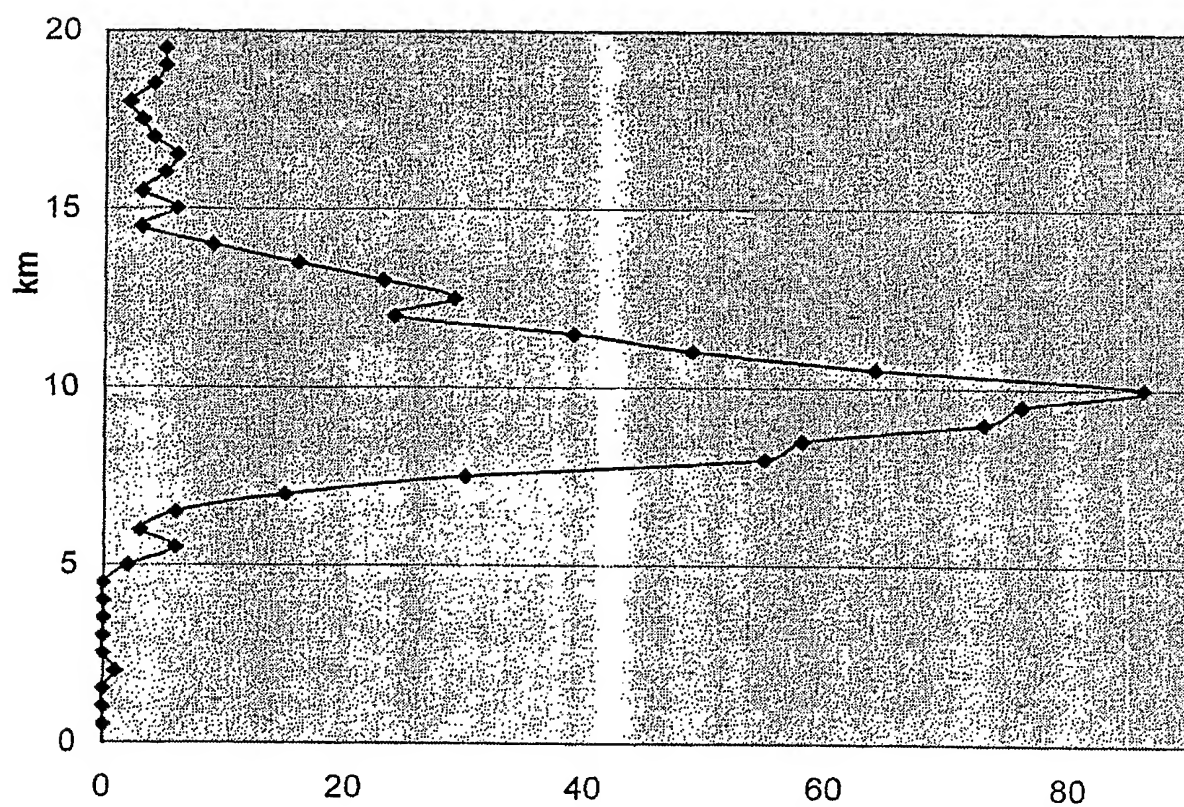


Fig. 7D

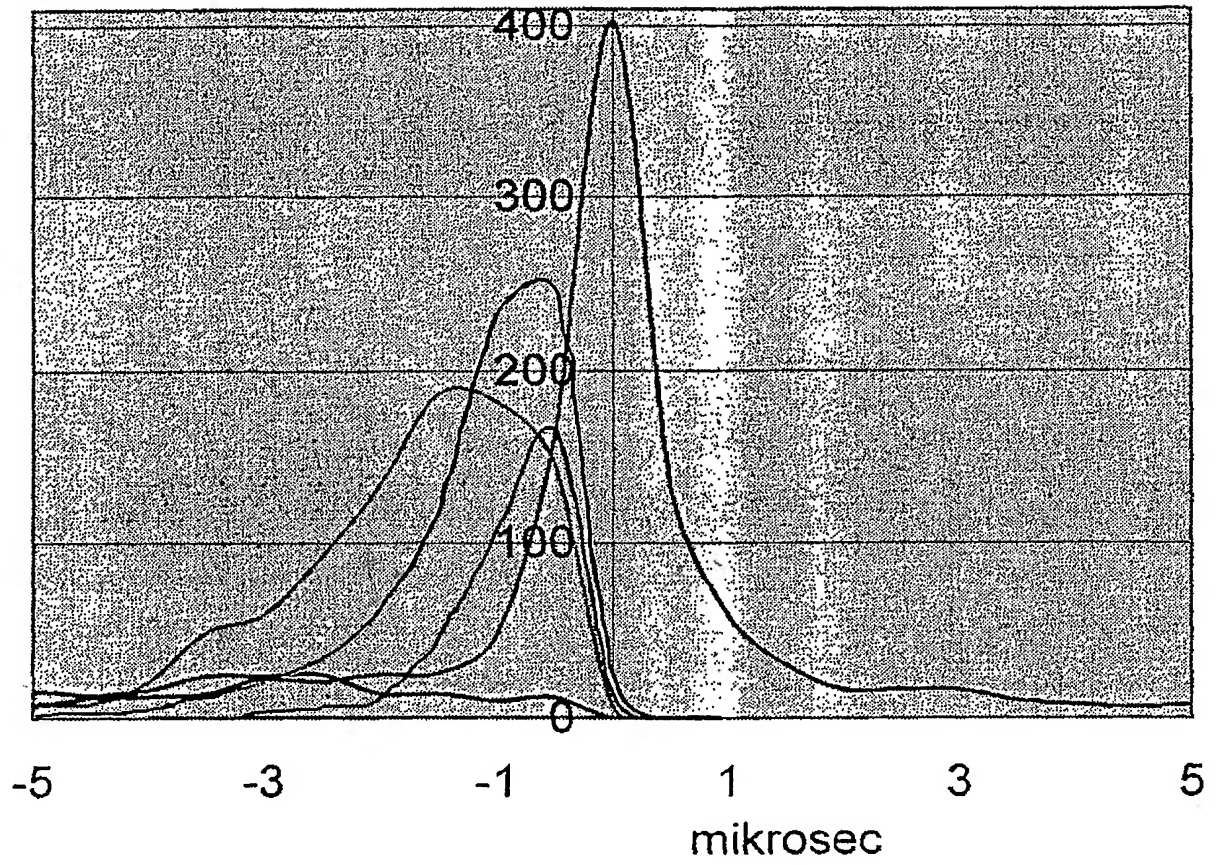


Fig. 8